MARIAGIOVANNA
SAMI

IL GRANDE LIBRO DELL' INFORMATICA

DAI NUMERI AL COMPUTER

ARNOLDO
MONDADORI
EDITORE

IL GRANDE LIBRO DELL'
INFORMATICA

IL GRANDE LIBRO DELL' INFORMATICA

DAI NUMERI AL COMPUTER

Mariagiovanna Sami

ARNOLDO MONDADORI EDITORE

Sommario

L'Editore ringrazia per la particolare collaborazione:
l'Ufficio Pubblicità e Immagine della Fiat,
l'Ufficio Pubblicità della Ford Italiana S.p.A.,
l'Archivio Fotografico dell'IBM italiana, in particolare la signorina Iris Rizzi,
l'Ufficio Stampa dell'Olivetti,
il CNR, Laboratorio Tecnologie Didattiche di Genova,
la Perkin Elmer, la Hewlett Pakard, la SIP,
la redazione di Zerouno, l'ippodromo Le Padovanelle.

Redazione Laura Turati
Grafica Brunhild Kindermann
Segreteria di Redazione Aurora Antinucci
Consulenza pedagogico-didattica di Cristina Lastrego e Francesco Testa
Prima edizione ottobre 1985
Seconda ristampa agosto 1987
Stampato presso le Artes Graficas Toledo S.A., Toledo (Spagna)
ISBN 88-04-26825-5
D. L. TO:1324-1987

Presentazione

Chi non ha mai usato un computer alzi la mano... attenzione! Non si sta parlando di calcolatori elettronici imponenti e dignitosi: non solo di quelli, almeno! E nemmeno dei piccoli personal o degli "home computer"... be', certo, in realtà si parla anche di loro: ma, di nuovo, non soltanto!

Vediamo un po'. Chi non ha giocato con un videogame, recentemente? Lo sanno tutti, in agguato dietro a quello schermo pieno di immagini colorate c'è un microcomputer. Qualcuno è appassionato di strumenti musicali elettronici? O ha in casa un sistema ad alta fedeltà del tipo "compact"? O un televisore di quelli nuovissimi, collegati a impianti tipo *Videotel* o *Televideo*? Ci sono microcomputer acquattati in tutti questi apparecchi!

Per non parlare dei calcolatori grandi o grandissimi: d'accordo, non li usiamo certo noi di persona – ci vogliono degli specialisti per un compito cosí delicato – ma il loro lavoro è presente in mille aspetti della nostra vita. Se andiamo a chiedere un documento all'anagrafe comunale, la nostra richiesta la facciamo a un computer. Se guardiamo le previsioni del tempo alla televisione, queste previsioni le ha elaborate un supercomputer. Se si tratta di riscuotere un assegno in banca, o di pagare le tasse, o di chiedere il rinnovo della patente, altri computer si impegnano a registrare informazioni nelle loro memorie, a far conti, a fornire risultati.

Non basta? La lavatrice di casa è stata progettata con l'aiuto di un calcolatore elettronico (e ne contiene uno, piccolissimo, incaricato di comandare il suo funzionamento). L'auto di famiglia è stata prodotta con l'intervento di robusti robot che hanno saldato lamiere, verniciato la carrozzeria e fatto altri lavori pesanti. L'ultimo film di fantascienza, con mirabolanti effetti speciali, non avrebbe potuto essere prodotto se non ci fossero stati i calcolatori elettronici a dare una mano. E quei curiosi giochetti di certe regie televisive, certe inquadrature che ruotano e si sfumano e si scompongono: anche quelli sono dovuti a dei calcolatori!

Si direbbe proprio che i calcolatori elettronici stiano invadendo la nostra intera vita; una conquista silenziosa e molto veloce, se pensiamo che i primi veri e propri calcolatori elettronici comparvero sulla scena intorno al 1945, e che allora sembravano ordigni misteriosi riservati a pochi scienziati in camice bianco. Certo, non è il caso di spaventarsi, non succederà, come in certi racconti sul "futuribile", che le macchine si impadroniscano della Terra, ma... ma non è il caso di conoscere un po' meglio la loro storia?

Un calcolatore non serve solo per fare calcoli e macinare nu-

meri, è verissimo: ma è altrettanto vero che la lunga storia dei numeri ha preparato la strada per queste macchine. Il computer è potuto nascere perché l'uomo ha saputo organizzare il proprio pensiero in termini rigorosi, matematici; perché ha saputo formulare la soluzione di molti problemi come una successione ordinata di operazioni ben precise, operazioni che ancora una volta possiamo definire matematiche, anche se magari si tratta di una matematica piú generale di quella che si impara a scuola; solo a queste condizioni è stato possibile tradurre, in modo che venisse "compresa" ed elaborata da una macchina, una parte, fosse pure piccolissima, del ragionamento umano.

E durante i millenni, man mano che si snodava la storia dei numeri, sono comparsi gli strumenti con cui l'uomo si aiutava a compiere calcoli sempre piú complessi. Molti di quegli strumenti sono scomparsi per sempre, effimeri come un mucchietto di sassi in un angolo della piazza, o un mazzetto di bastoncini sul tavolo. Di molti altri ci sono giunte solo le descrizioni un po' fantasiose fatte da chi li aveva ammirati; e altri ancora sono arrivati fino a noi, testimoni dell'ingegnosità dei nostri predecessori. Per non parlare delle macchine pensate e mai realizzate... perché per costruire una macchina (anzi, per farla funzionare) occorre essere padroni di una tecnologia; e vale la pena di conoscerle, quelle tecnologie che hanno preceduto l'elettronica, quelle che hanno permesso la nascita degli antenati dei nostri calcolatori. E anche l'elettronica ha avuto la sua storia, e forse il futuro è di altre tecnologie sempre piú potenti...

Come spesso succede, quando si parla di conquiste della tecnica, si ricordano piú facilmente le macchine che le persone: eppure, anche nella storia del computer si incontrano uomini e donne che hanno dato individualmente un contributo eccezionale. Incontriamo il bisbetico signor Babbage, che nel lontano Ottocento concepí l'idea di "calcolatore"; e l'affascinante contessa di Lovelace, impegnata negli studi piú difficili quanto nella brillante vita dell'alta società; e il pratico mister Hollerith, che risolse il problema dei censimenti (e mille altri problemi) inventando il centro meccanografico; e Alan Turing e John von Neumann e...

Conoscere come è nato il computer può aiutarci a capire un po' meglio che cosa sa fare il computer, a comprendere come mai è riuscito a conquistare il mondo intero, e magari a sbirciare nei laboratori degli scienziati per cercare di intuire che cosa ci promettono i prossimi anni.

La lunga storia dei numeri

Nascono i numeri

Lo sanno tutti che un computer non si limita a macinare numeri: ma senza numeri non funzionerebbe. Qualsiasi cosa – l'immagine sullo schermo in un videogioco, la musica creata da un sintetizzatore elettronico, la traiettoria di un missile, il dizionario italiano in un sistema per la composizione automatica delle pagine di stampa (già, il computer corregge gli errori d'ortografia!) – qualsiasi cosa, nella memoria di un computer, è tradotta con dei numeri che formano un "codice"; ed è sui numeri che poi la macchina lavora! Vale la pena, dunque, di conoscere qualcosa di piú sulla loro storia...

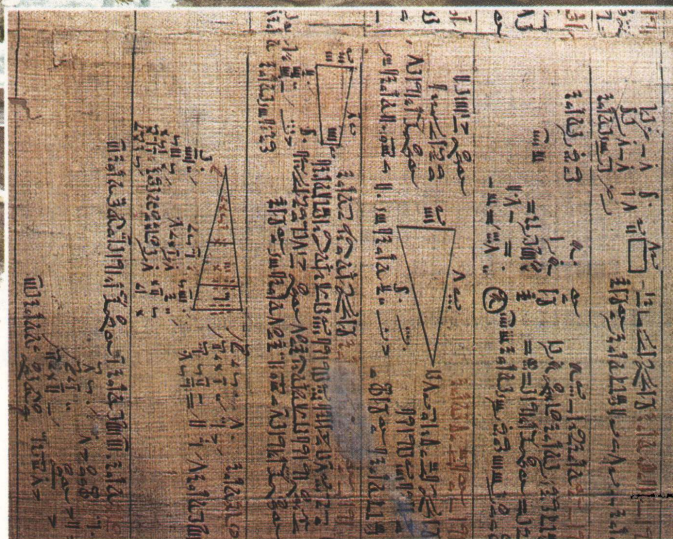
Una storia il cui inizio è avvolto nel mistero. Probabilmente i nostri antenati piú antichi a un certo punto sentirono il bisogno di riconoscere delle quantità, di "numerare" gli oggetti intorno a loro, ma non sapremo mai quando cominciarono a farlo. Tribú sperdute nelle isole dell'Indonesia non hanno nemmeno le parole per contare al di là di tre o quattro: dire "molti", a quanto pare, sembra loro già sufficientemente preciso. D'altra parte, si è visto che certi "concetti" matematici non sono un'esclusiva degli esseri umani: gli esperimenti sui delfini hanno dimostrato che questi allegri cetacei riconoscono le principali figure geometriche – sono capaci di distinguere un cerchio da un quadrato, per esempio – mentre si è scoperto che certi uccelli sanno contare fino a tre o a quattro... uova, naturalmente. E allora?

Di sicuro, i primissimi "matematici" contavano a due per volta: uno piú uno fa un paio, e poi un paio piú un paio formano un gruppo piú grande, un gruppo di due paia, e cosí via: un computer "conta" esattamente cosí. L'uomo però si accorse presto che calcolare "per due" non era poi molto comodo, e cominciò a calcolare "per cinque" (le dita di una mano sono un computer primitivo cosí funzionale) oppure "per dieci" (aggiungete anche l'altra mano!). Su un osso di lupo, un uomo di 30 000 anni fa ha inciso un insieme di cinquantacinque tacche, raggruppate in sequenze di cinque: forse era il promemoria di un astronomo che calcolava complicate fasi celesti, o magari semplicemente quello di un fabbricante di frecce di pietra che teneva il conto dei suoi crediti: di sicuro, lo sconosciuto che incise quei segni sapeva contare, e il numero cinque, dal suo punto di vista, era un numero particolarmente importante, una "base". È probabile che dicesse fra sé "cinque piú due" e "tre volte cinque piú uno" e cosí via.

Senza alcun dubbio, quell'antichissimo matematico conosceva solo un'aritmetica molto semplice: c'è da scommettere che per contare si aiutava con le dita, che per fare somme e sottrazioni usava dei mucchi di pietre e che non si sognava nemmeno di avventurarsi in operazioni complicate con lunghe molti-

Sopra: forse i primi numeri comparvero... col primo mercante! Anche se non esisteva il denaro, occorreva pure calcolare "tre anatre in cambio di sette punte di freccia" o cose simili, no? Ecco allora un osso, o una pietra, su cui incidere delle tacche che servissero di registrazione.
A fronte: col tempo, i popoli mesopotamici inventarono un'autentica scrittura numerale, come quella incisa su questa tavoletta d'argilla.

plicazioni o divisioni. La cosa importante, però, è che il seme di una scienza era stato piantato, e la pianticella, lentamente, cresceva. Forse cresceva per merito dei sacerdoti che volevano calcolare le fasi della Luna e le ricorrenze di feste dimenticate da millenni. O forse furono i contadini che chiedevano quando sarebbe tornata la stagione della semina, fatto sta che qualcuno doveva pur imparare a contare le fasi lunari e conoscere un po' d'astronomia.

In Egitto, gli specialisti di matematica erano chiamati "tenditori di corde": erano i geometri che – aiutandosi con due paletti e una fune – disegnavano i confini dei campi dopo le piene del Nilo e ne calcolavano la superficie. Già, perché – anche se per millenni vi fu un po'

d'odor di magia – la matematica era una scienza molto pratica!

L'Egitto e la Mesopotamia sono le uniche terre che ci hanno tramandato una traccia di quello che era la scienza dei numeri mille o duemila anni prima di Cristo. Dall'Egitto sono giunti alcuni papiri – lunghe strisce di una "carta" fatta con gli steli d'una pianta acquatica – istoriati con una serie di problemi, regole, spiegazioni di aritmetica e geometria; e da Babilonia arrivano migliaia di tavolette d'argilla su cui sono incise leggi matematiche, e anche i compiti degli scolari, gli appunti degli esattori delle

Nella tavola: "tenditori di corde", come erano chiamati i matematici egiziani. Loro compito era ridisegnare i confini dei campi dopo le piene del Nilo, o calcolarne la superficie in occasione di vendite, eredità o... per stabilire le tasse! Per questo usavano corde di cui conoscevano la lunghezza: un po' come il nostro "metro a nastro". Qui sopra: i "tenditori di corde" si tramandavano i segreti della matematica. Questo papiro, detto "papiro Rhind" dal nome del suo scopritore, è fitto di geroglifici che spiegano come risolvere complesse moltiplicazioni e divisioni di frazioni.

tasse e dei mercanti, i calcoli degli astronomi che volevano prevedere il sorgere di una particolare stella o il verificarsi di un'eclisse di Sole... la matematica babilonese era tutt'altro che primitiva!

Per qualche strana ragione, i Babilonesi non contavano "a base di decine" come facciamo noi: noi parliamo di "unità", di "decine", di "centinaia" (dieci per dieci) e cosí via. Loro si basavano sul numero sessanta: il perché non è chiaro, però la tradizione è durata piú di quattromila anni, tanto che noi continuiamo a dividere l'ora in sessanta minuti e il cerchio in 360 gradi!

A dire il vero, una cosa era "contare" e una cosa diversa "rappresentare" i numeri: i Babilonesi avevano un simbolo per l'unità, un "cuneo" verticale, e uno per il dieci, un cuneo orizzontale: se dovevano rappresentare il numero trentasei, scrivevano all'incirca cosí:

< V V V
<
< V V V

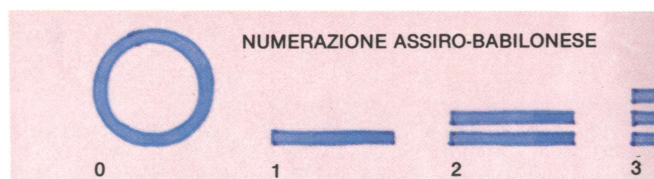
Tutto era molto semplice finché non si arrivava al numero cinquantanove (cioè uno meno di sessanta): e poi? E poi, i Babilonesi fecero una scoperta indimenticabile... tanto che la utilizziamo anche noi (computer compresi): scoprirono l'importanza della "posizione".

Quando noi scriviamo 1221, abbiamo un numero in cui cifre identiche compaiono in posizioni diverse, e proprio per questo hanno un *valore* diverso: l'uno piú a destra vale un'unità, ma il due subito piú a sinistra vale "due volte dieci" (venti) e quello piú a sinistra ancora vale "due volte cento" e poi l'uno piú a sinistra vale mille (dieci volte dieci volte dieci). Abbiamo pochi simboli per le cifre – da 0 a 9 – ma il "significato" di una cifra dipende dalla posizione che essa ha nel numero: occorre moltiplicare la cifra per il "peso" della sua posizione. Questa fu la grande scoperta dei Babilonesi perché, altrimenti, ci occorrerebbe una spaventosa quantità di simboli diversi per rappresentare i numeri! I Romani, che pure erano gente pratica, non ci arrivarono mai: se dovevano scrivere 3661 compitavano MMMDCLXI (scrivevano tre volte il simbolo M, che vuol dire mille, e poi la D per cinquecento, il C per il cento, L che sta per cinquanta e X per dieci e I per uno). I Babilonesi avrebbero scritto semplicemente

V V V

cioè (cominciando da destra) un'unità, piú uno che moltiplica sessanta, piú uno che moltiplica tremilaseicento (cioè sessanta per sessanta).

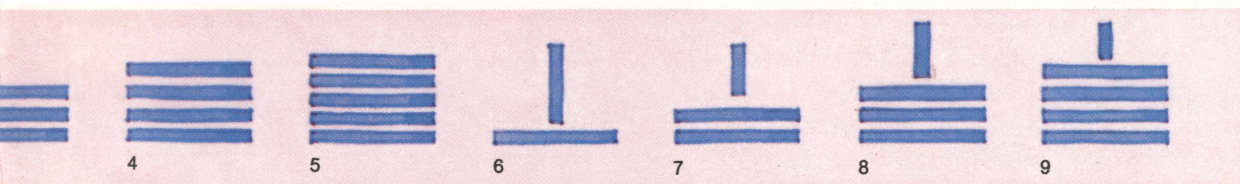
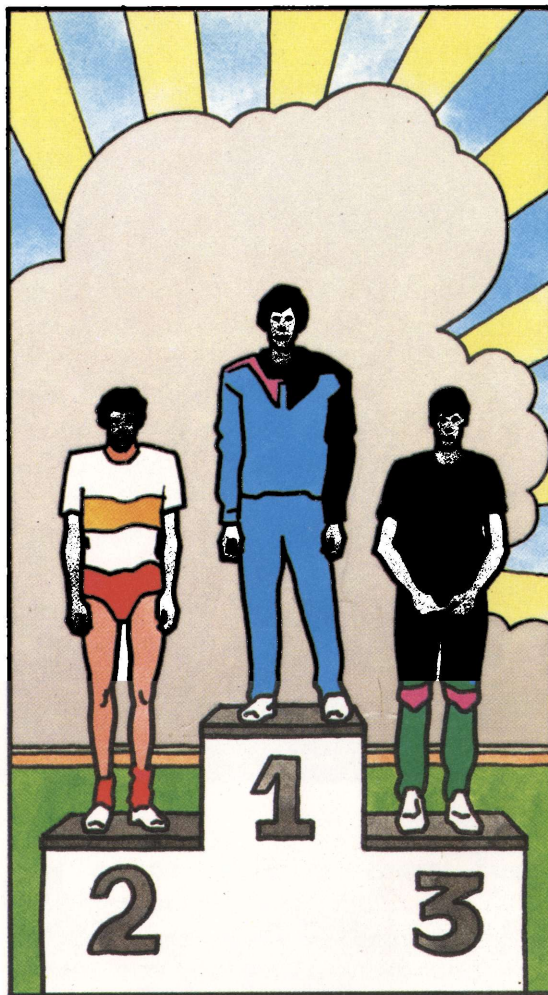
Questo modo di scrivere i numeri, poi, rende molto piú facile fare le som-

Sopra: cosí appare oggi, fotografata dal satellite *Landsat 4*, la valle del Nilo, verde contro il bianco del deserto. Per cinquemila anni qui è fiorita una civiltà che ha lasciato molti segni nella nostra vita quotidiana... magari senza che ce ne accorgiamo. E anche dal satellite si distinguono tre minuscoli triangoli sulla sinistra: le Piramidi!

me: proviamo a riprendere i nostri numeri "in base dieci". Se scriviamo 27 + 15 cominciamo a sommare le due cifre piú a destra, e il risultato è piú grande di dieci: è dodici, "dieci piú due". Allora scriviamo due come cifra piú a destra del risultato e sommiamo un'altra decina (il "riporto") nella posizione delle decine. Ed è proprio cosí che lavoravano i Babilonesi: ed è proprio cosí che lavorano i computer! Costruire un "macinanumeri" elettronico sarebbe molto piú difficile se non usassimo questo modo di rappresentare i numeri.

I Babilonesi furono grandi esperti di calcoli: scoprirono come manipolare complicate frazioni, prepararono tabelle della moltiplicazione e della divisione, scrissero lunghi trattati sulla soluzione di problemi tutt'altro che facili. Molte delle domande di algebra elencate su un moderno libro di scuola troverebbero

una risposta sulle tavolette di argilla scavate a Nippur o a Babilonia. Su quelle tavolette, come sui papiri egiziani, compaiono anche dei problemi di geometria: ma l'epoca d'oro della geometria venne piú tardi.

Venne, naturalmente, con i Greci. Qualsiasi studente ha avuto qualche piccolo scontro con Pitagora, Euclide, Talete e compagnia: i sapienti dell'antica Grecia hanno preparato un bel po' di guai per i loro "nipoti"! Pitagora ci ha addirittura lasciato in eredità il nome della scienza dei numeri: fu lui a inventare la parola "matematica", che vuol dire "ciò che si impara": forse se ricordassimo che la matematica "si impara" ci farebbe un po' meno paura... E se ricordassimo che i numeri sono "armonici"? Pitagora scoprí che quando le lunghezze delle corde di una cetra avevano

A destra: i modi migliori per scrivere i numeri e per fare i conti sono quelli che utilizzano la "posizione" della cifra, in un numero anche lungo, per specificare quanto in realtà quella cifra vale. Proprio come, su un podio, dal posto che ognuno occupa, si sa se è primo, secondo o terzo!
Sotto: la numerazione assiro-babilonese, che già allora era di tipo "posizionale".

particolari valori, le note che si ottenevano pizzicandole erano in armonia: una regola che vale ancora per qualunque chitarra e, tradotta "elettronicamente", vale anche per qualunque sintetizzatore di suoni.

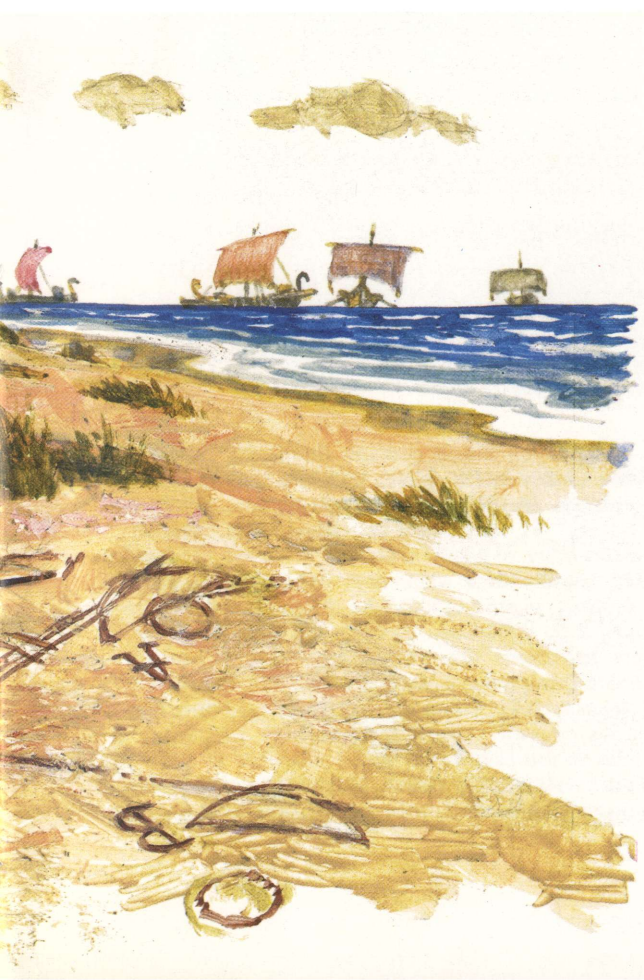
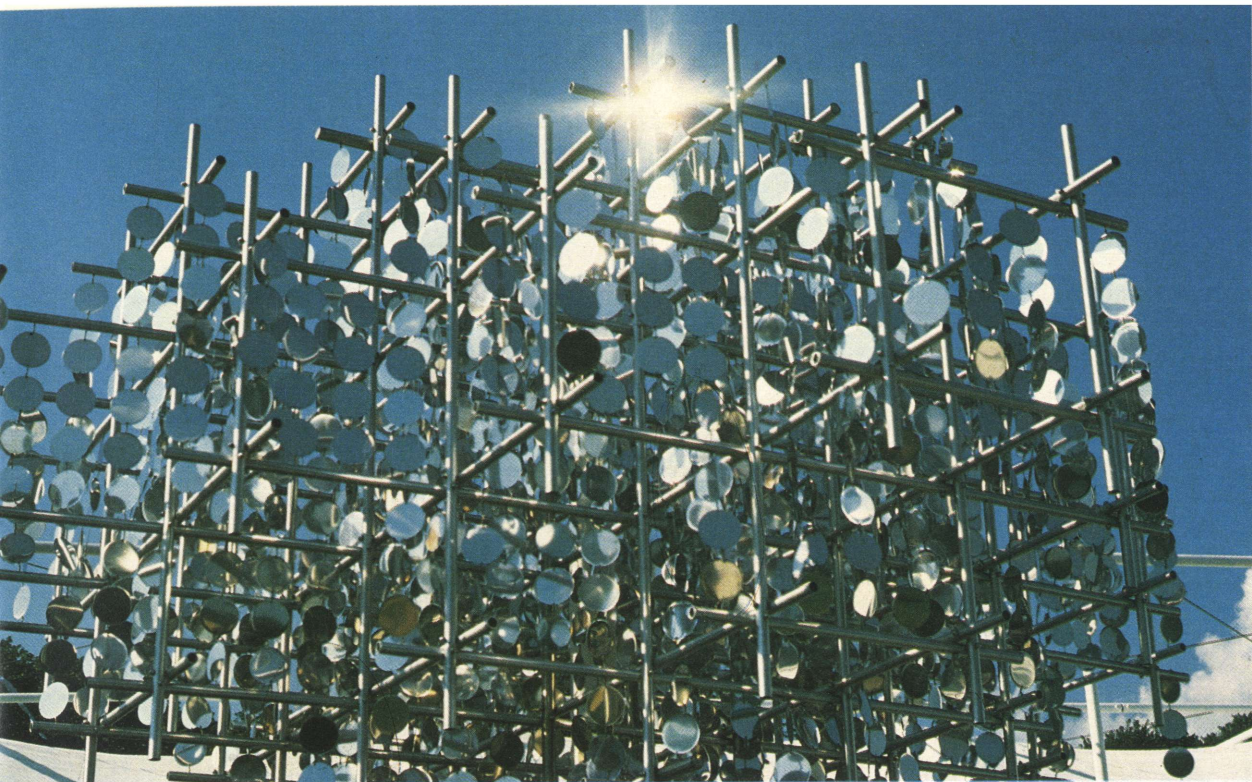
Forse Pitagora esagerò affermando che "tutto è numero": i suoi allievi cercarono di fondare una repubblica organizzata secondo le sue regole, e non fu un gran successo.

« Non esiste una strada riservata ai re che porti alla matematica. » Erano passati due secoli dal tempo di Pitagora, e gli studiosi greci si erano fatti conoscere da un capo all'altro del Mediterraneo. I matematici non erano certo individui chiusi nelle loro biblioteche, sprofondati fra i libri: erano uomini che viaggiavano fino ai confini del mondo conosciuto, che incontravano i sapienti di terre lontane e trattavano alla pari con i

potenti. Se ne accorse Tolomeo, re dell'Egitto: chiese al celebre Euclide se c'era... insomma, se c'era qualche libro facile, "adatto a un re", e si sentí rispondere con la famosa frase sulla "via per la matematica". Certo, Tolomeo non aveva scelto l'uomo giusto per la sua domanda: Euclide aveva scritto un trattato di matematica che sarebbe rimasto famoso nei secoli, ma che non faceva concessioni al "rango" dei suoi lettori!

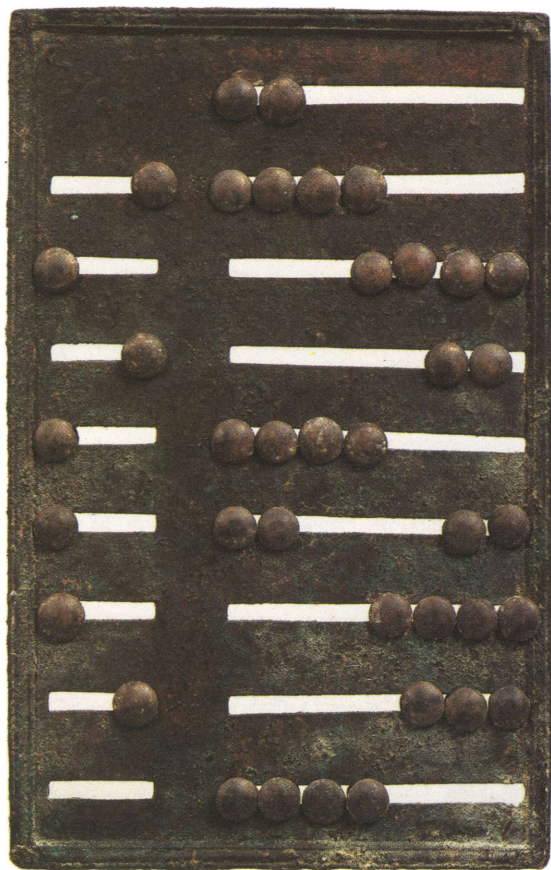
Può darsi che Euclide non abbia "inventato" nulla: ma spiegò con straordinaria chiarezza gli studi di coloro che l'avevano preceduto. Fino al secolo scorso la geometria è stata "come l'aveva descritta Euclide": e quando verso la metà dell'Ottocento si pensò a geometrie "diverse", non si trovò altro modo di definirle che chiamandole "non euclidee"!

Euclide si sdegnava all'idea che la matematica servisse a qualcosa di pratico: un allievo che gli fece una domanda del genere si vide porgere una monetina "perché evidentemente era un uomo attaccato al denaro". Un secolo dopo un altro grande studioso, Archimede, non si vergognò di mettere le sue idee al servizio della pratica, costruendo macchine da guerra, calcolando le leggi che governano fenomeni come il galleggiamento di una nave o il funzionamento di una

Sotto: Archimede era "il tipico scienziato", sempre cosí impegnato sui problemi matematici da non accorgersi di quanto lo circondava... nemmeno che i Romani avevano espugnato Siracusa!
A fronte: forse è leggenda che gli specchi ustori di Archimede incendiassero le navi romane, ma oggi grandi specchi utilizzano l'energia solare!

leva: eppure, preferiva i trattati “teorici” alle scoperte “pratiche”.

Certo, erano trattati teorici che affrontavano problemi fondamentali della geometria: il calcolo della circonferenza di un cerchio, per esempio (la “quadratura del cerchio”), oppure il calcolo del volume di una sfera (Archimede non “risolse” il problema della quadratura del cerchio, ma propose un metodo che forniva un valore della circonferenza molto ben approssimato). Quasi per vendicarsi, furono i suoi lavori “pratici” a costargli la vita. Durante l’assedio di Siracusa, gli assedianti romani dicevano che quell’uomo che passava il suo tempo a disegnare nella sabbia formule misteriose era il piú potente difensore della città assediata. Si riferivano alle sue macchine militari, naturalmente: ma quando invasero la città, un soldato vide un vecchio, assorto nei propri pensieri, che tracciava numeri e figure nella sabbia, e lo uccise.

Sembra un simbolo di quel che doveva succedere alla scienza. I Romani non si occuparono certo di studiare la matematica, non si preoccuparono minimamente dei raffinati problemi di geometria che avevano appassionato i Greci, né dei complicati calcoli per cui i Babilonesi avevano scritto interi trattati, non si preoccuparono nemmeno di scrivere i numeri in una forma comoda. C'è da chiedersi come abbiano potuto gestire le finanze e gli eserciti di un grande impero: certo, non doveva essere molto comodo calcolare "MMMCCCIX piú MDLXV"!

Per aiutarsi, il povero contabile romano aveva solo l'abaco; una tavoletta di pietra con tante scanalature in cui si infilavano dei sassolini che si inserivano, si toglievano, si spostavano per fare somme e sottrazioni: una specie di rudimentale pallottoliere.

Un pallottoliere molto piú perfezionato esisteva già all'altro capo del mondo. I Cinesi lo usano ancora oggi, con grande abilità: in tempi piú antichi avevano usato come "calcolatore" dei bastoncini (le persone importanti ne avevano d'avorio, i poveretti si accontentavano di pezzetti di legno) e anche scrivendo usavano per le cifre decimali dei simboli fatti di bastoncini. Erano poco ingombranti, certo, ma un po' scomodi da usare, sicché presto comparve il pallottoliere. I bastoncini rimasero nella scrittura, e non certo disegnandone cento per rappresentare il numero cento! I disegni a trattini simboleggiavano solo le nove cifre da 1 a 9: anche i Cinesi scoprirono che si poteva distinguere il "peso" di una cifra in un numero a seconda del posto che la cifra occupa. Piú o meno come facevano i Babilonesi: solo che i pesi erano come per noi, unità, decine, centinaia e cosí via. Per esempio, il numero 3126 si sarebbe scritto III I II I̲ (il I̲ significa 5 + 1). E, attenzione!, il numero 4028 si sarebbe scritto IIII O II I̳.
...E quel circolino? Ha proprio il significato che gli diamo noi: uno zero.

In matematica, lo zero è stata una delle idee piú geniali che siano mai state espresse (anche se non se ne conosce l'autore): un'idea niente affatto facile, tanto è vero che Greci e Romani non se ne servirono. Nacque nel favoloso Oriente, probabilmente in India, ed è comprensibile solo quando si scrivono i

A sinistra: un abaco romano dove ogni riga è divisa in due parti: quella a destra "conta" da uno a quattro, quella a sinistra vale cinque. Vogliamo "scrivere" 8? Spostiamo la pallina della parte di sinistra e tre di quelle a destra. Vogliamo sommare due? Cominciamo a spostare un'altra delle palline a destra... e poi? Già, 10 ha il "peso" delle decine: sopra il 9, dobbiamo passare alla riga piú in alto, dove spostiamo una pallina (cosí si fa il riporto), mentre "rimandiamo a 0" la riga sotto.
A fronte, nella tavola: la prima calcolatrice cinese era un comodo mazzo di bastoncini, utilizzabile anche al mercato senza dover ricorrere ai pennelli. L'altra calcolatrice cinese, in uso ancor oggi, è il pallottoliere (nella foto).

numeri "basandosi sulla posizione". Occorre poter dire che in una certa posizione "non c'è nulla": dire che ci sono migliaia e decine ma non centinaia, per esempio. Ai Babilonesi il sospetto che ci fosse questo problema era venuto, e l'avevano risolto lasciando degli spazi in bianco, anche se non era una soluzione molto brillante: chissà quante confusioni nacquero fra gli spazi lasciati da uno scriba distratto e quelli che rappresentavano proprio uno zero! Toccò ai matematici indiani decidere che anche lo zero era una cifra: decidere che le cifre decimali erano proprio dieci, da 0 a 9. L'idea si diffuse prima di tutto in Oriente, e pian piano, grazie ai matematici arabi, raggiunse anche l'Occidente...

Arabi? Che c'entrano, loro?

Senza i califfi delle *Mille e una notte*, la scienza europea sarebbe morta. Vediamo come mai...

La metà sconosciuta del mondo

Gli specialisti, gli storici della matematica, si accapigliano per stabilire se certe idee sono comparse prima in Cina oppure in Grecia, per decidere se gli scienziati indù hanno mai studiato le tavolette dei Babilonesi; eppure c'è tutto un mondo di numeri che conosciamo ancora molto poco e che di sicuro crebbe tutto solo, isolato da Pitagora, da Euclide e dal pallottoliere cinese: il mondo degli indios americani, prima di Cristoforo Colombo.

I Maya furono grandi matematici e grandi astronomi: anzi, usarono la matematica proprio per fare complicati calcoli che avevano a che fare con la Luna, le stelle, le previsioni di misteriosi avvenimenti che il cielo minacciava. Le stele, le grandi lapidi di pietra scolpita che gli archeologi trovano sepolte sotto le liane, nelle giungle dell'America centrale, portano incisi proprio questi calcoli: la matematica è forse la cosa che conosciamo meglio, nella storia dei misteriosi Maya!

Anche il loro modo di rappresentare i numeri si basava sulla posizione, come il nostro, ma con una differenza. La base cui i Maya facevano riferimento non era il dieci ma il venti. E c'era un simbolo anche per lo zero: un occhio umano. Un trattino orizzontale indicava il cinque, un punto indicava l'unità: il numero dodici si scriveva ≐ (due volte cinque piú due), mentre un numero piú complicato come 257 diventava "12 volte venti piú tre volte cinque piú due" cioè . E 240 era semplicemente "12 volte 20 piú zero", cioè .

Questa matematica serviva prima di tutto a fare dei calcoli... sul calendario. Il calendario maya era tutt'altro che semplice, e coinvolgeva complicate osservazioni non solo sul moto del Sole e della Luna, ma anche sul comportamento dei pianeti e delle stelle (sotto: l'osservatorio astronomico di Palenque): altro che anno di 365 giorni, con un anno bisestile ogni quattro! C'era un "anno cerimoniale" che si chiamava *tzolkin* ed era fatto di 13 periodi (numerati) lunghi ognuno 20 giorni: e fa 260 giorni. Ma c'era anche un anno solare fatto di 18 mesi, ognuno di 20 giorni, piú un "periodo sfortunato" di 5 giorni: cioè 365 giorni. Anno solare e anno cerimoniale avevano un capodanno che coincideva ogni 52 anni: qualcosa che si chiamava un *katun* ed era un periodo molto importante. A ogni capodanno di katun si dovevano distruggere le stoviglie di casa e fare cerimonie molto particolari, per evitare che il mondo finisse.

C'è da stupirsi che i Maya avessero una matematica molto raffinata? Dopo tutto, serviva a impedire la fine del mondo!

La bandiera dell'Islam

Le invasioni dei barbari avevano distrutto scuole e biblioteche; uno degli ultimi studiosi romani, Boezio, che aveva scritto un semplice "riassunto" della grande matematica greca, fu ucciso dal re dei Goti Teodorico. In Europa, la scienza pareva morta, sprofondata fra le macerie delle antiche città.

A sud, fra i deserti che avevano invaso l'Arabia, era comparsa una potenza guerriera: gli eserciti di beduini guidati dalla bandiera verde di Maometto, il Profeta, si impadronirono rapidamente della penisola araba, risalirono fino a Damasco, conquistarono Gerusalemme, invasero l'Egitto, occuparono la favolosa Alessandria, continuarono la loro marcia lungo la costa dell'Africa fino a Gibilterra, sbarcarono in Spagna...

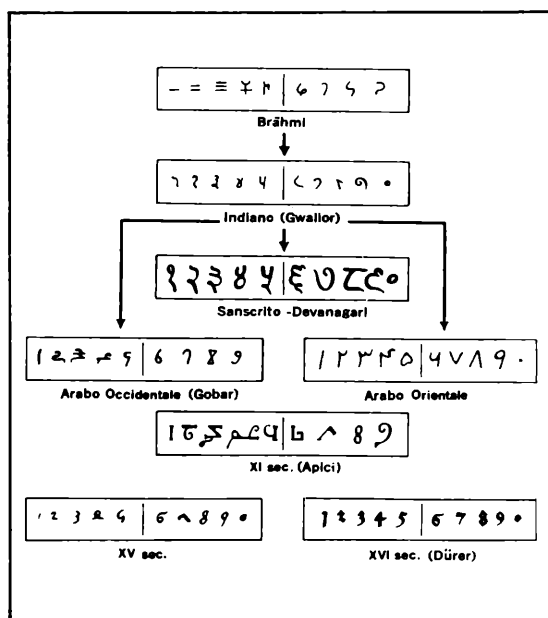
L'Europa tremava davanti a quella minaccia, pure fu proprio la bandiera dell'Islam a salvare l'antica scienza eu-

ropea! I conquistatori venuti dal deserto assorbirono il sapere dei Greci, appresero le conoscenze degli Indiani e li fusero in una nuova cultura: a Baghdad, quando era califfo Haroun al Rashid (sicuro, il califfo delle *Mille e una notte*!) nacque il "miracolo arabo".

I califfi fecero tradurre i grandi libri greci: i trattati matematici di Euclide e di Archimede e il libro di astronomia di Tolomeo, che dal punto di vista degli scienziati antichi era "il piú grande" libro mai scritto, tanto che, visto che in greco "il piú grande" si diceva *méghistos*, gli arabi diedero al libro il curioso titolo, mezzo greco e mezzo arabo, di *Almagesto*, cioè "Il piú grande". Dall'India fu tradotto il libro di matematica piú celebre nella valle del Gange, il *Siddhanta* (che voleva dire "sistema di matematica e astronomia"). A Baghdad, il califfo al-Mamun fondò, poco dopo l'anno 800, una specie di università, la "Casa della saggezza": una "casa" dove insegnò un matematico che sarebbe stato celebre per tutti i secoli seguenti.

Aveva un nome molto lungo: Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi; scrisse una mezza dozzina di trattati di matematica, di cui almeno due hanno lasciato traccia nella matematica odierna: uno di essi si intitolava *Il calcolo degli indiani*, e il monaco europeo che molti anni dopo lo tradusse in latino lo ribattezzò *Liber algorismi*, cioè il libro di al-Khwarizmi. Fu grazie a quel libro che gli europei conobbero il metodo indiano per rappresentare i numeri, compresi i simboli che indicavano le cifre; simboli "indiani" in realtà, ma che per colpa di al-Khwarizmi diventarono noti (e usati!) come "numeri arabi". E il nome storpiato dello scienziato – "algorismo", "algoritmo" – significò dapprima proprio l'uso di quei particolari numeri e poi, piú in generale, una regola per risolvere un problema matematico: un computer ha bisogno di un "algoritmo", di un "metodo".

E l'altro libro? Era un trattato generale di matematica, un testo dal titolo complicato che cominciava *Al-gabr*... I traduttori latini non si diedero la pena di scoprire che cosa mai "Al-gabr" significasse: scrissero *Liber algebrae*... e, ahimè, algebra è rimasta, per la disperazione degli studenti.

Al-Khwarizmi era sicuramente un uomo molto sapiente: dai suoi libri si capisce che conosceva gli studi degli Indiani, dei Greci, e perfino (attraverso qualche antichissima tradizione) quelli dei Babilonesi, le cui città ai suoi tempi erano già sepolte dal deserto. Era anche uno scrittore molto chiaro: fu di sicuro un bravissimo professore. Proprio perché erano facili da capire (be', bastava studiarli), i suoi libri divennero popolari nell'Europa del Medioevo: e cosí, in de-

Albero genealogico dei "numeri arabi", che in realtà hanno origine indiana. I simboli piú antichi, quelli della scrittura indiana Brahmi, avevano i primi tre numeri ancora disegnati "a bastoncino". Verso il 700 d.C. gli Arabi si impadronirono di questi segni... e le cifre della scrittura Gobar assomigliano già molto alle nostre!

finitiva, anche i numeri indiani – cioè, i numeri "arabi"! – invasero il mondo.

Per circa tre secoli gli Arabi dominarono la matematica: mentre l'Europa sprofondava nell'ignoranza (l'imperatore Carlo Magno riusciva a mala pena a tracciare la propria firma!), la scienza fioriva alla corte di Baghdad. Un medico che si chiamava Ibn-Sīnā (gli europei storpiarono il suo nome in Avicenna) scrisse anche libri di matematica, spiegando quella regola del nove che ci serve ancor oggi per controllare i nostri calcoli.

Un suo contemporaneo, al-Biruni, visitò l'India e scrisse un libro dal semplice titolo *India*: è grazie a lui che la matematica indiana è giunta fino a noi. Allora, uno scienziato non si specializzava come farebbe oggi: al-Biruni si occupò di geologia – da buon figlio del deserto, studiò il modo di scavare i pozzi artesiani – di fisica, e perfino di astronomia. In uno dei suoi libri, suggerí un'idea sconvolgente: e se la Terra non fosse stata ferma nell'universo? Se la Terra avesse ruotato intorno al proprio asse, cosí da esporre punti diversi alla luce del Sole, nelle varie ore (al-Biruni pensava che la Terra fosse una sfera, non certo un piatto!)?

Poco alla volta, la matematica araba declinò; il fanatismo religioso delle sette islamiche piú accanite spense lentamente la fiamma della scienza che aveva brillato a Baghdad. Prima della decadenza, comparve un personaggio affascinante: un persiano che scrisse trattati di algebra e di geometria, che scoprí il metodo per risolvere complicati problemi e fu convocato dal sultano per studiare un nuovo calendario. Eppure, oggi non lo ricordiamo come matematico!

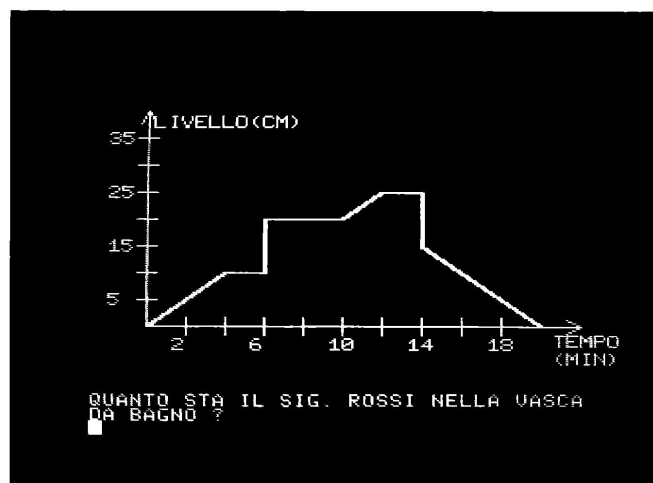
Si dovrebbe citare il suo nome a tutti coloro che descrivono il matematico come un uomo duro, perso nei propri stu-

di rigorosi e incapace di passioni, di... poesia. Quel grande scienziato si chiamava Omar Khayyam, e oggi lo ricordiamo soprattutto come un grande poeta; un uomo che nelle sue brevi *ruba'is*, poesie lunghe solo quattro versi, parlò delle bellezze della vita e protestò contro la bigotteria e la superstizione. Di sicuro, un uomo che non voleva un mondo fatto solo di numeri!

Il secolo d'oro

In realtà, fu un secolo in cui lunghe guerre tormentarono l'Europa, portando nella loro scia distruzioni e pestilenze. Il '600 non fu un'epoca tranquilla, ma fu anche un secolo in cui grandi scienziati scoprirono regole e leggi universali che avrebbero reso molto piú ricco il bagaglio delle conoscenze umane. Molti di loro furono matematici, anzi, si dovrebbe dire che tutti lo furono, dato che la matematica era indispensabile anche per studiare le leggi della fisica!

A leggere i libri di storia, si direbbe che la Francia del '600 pullulasse di matematici: alcuni avrebbero forse preferito il titolo di "filosofi", ma in realtà il loro metodo di ragionamento era proprio un metodo rigorosamente matematico. Anzi, uno dei piú famosi - il signor Descartes, o Cartesio, come gli piaceva chiamarsi latinizzando il proprio nome - scrisse addirittura un libro intitolato *Discorso sul metodo che si deve seguire per ragionare bene e scoprire la verità nella scienza*: nientemeno! Un metodo matematico, naturalmente.

Noi inciampiamo nel buon Cartesio a ogni passo: basta aprire il giornale di oggi, per esempio. Cominciamo dalla pagina economica: quella che ci racconta se i prezzi sono aumentati o diminuiti, che dice se le industrie hanno prodot-

A sinistra: gli Arabi raccolsero e ampliarono le conoscenze delle antiche culture. Tra i maggiori studiosi ci furono Omar Khayyam, dottissimo astronomo, e Averroè, pietra miliare della medicina. Sopra: un grafico cartesiano: sulla linea orizzontale "corrono" i minuti, su quella verticale il livello dell'acqua. Nei primi 4 minuti l'acqua sale, poi, per 2 minuti, il signor Rossi chiude il rubinetto. Cos'è quell'impennata? Ah, il signor Rossi è entrato in vasca! Riposa per 4 minuti, riapre il rubinetto, si lava, poi esce e fa scorrere via l'acqua.

to di piú negli ultimi sei mesi eccetera. Di sicuro, vedremo un grafico: un disegno in cui due righe si incontrano ad angolo retto – quella orizzontale contrassegnata dalla parola "tempo", ad esempio, quella verticale contrassegnata con "costo della vita" o "costo del dollaro" – e nello spazio fra le due rette c'è un'altra linea tutta angoli e scoscendimenti, oppure una bella curva. Un grafico del genere è un "diagramma cartesiano": ecco che salta fuori l'amico Cartesio!

Supponiamo di avere un diagramma intitolato "andamento del costo del dollaro negli ultimi anni". Come lo si legge? Sulla retta orizzontale (si chiama "asse delle ascisse") saranno contrassegnati tanti punti indicati con "marzo 1984", "gennaio 1985" e cosí via; scegliamone uno – "giugno '84", per esempio – e tiriamo un'altra retta verticale fino a incontrare la linea tutta angoli e scoscendimenti. Poi misuriamo il punto in cui le due linee si sono incontrate, leggendo sulla retta verticale contrassegnata "costo del dollaro" (si chiama "asse delle ordinate") che valore è scritto a quell'altezza. Quel valore ci dice quanto costava il dollaro nel giugno '84.

Con un diagramma cartesiano possiamo rappresentare mille cose, e possiamo "disegnare" le formule matematiche (o, per esser piú precisi, le equazioni). Come? Immaginiamo di avere una formula in cui compaiono due grandezze (due "variabili") che possono assumere tanti valori diversi; basterà assegnare a una delle due grandezze, volta per volta, un valore ben preciso, che scriveremo sull'asse delle ascisse, e calcolare con la nostra equazione il valore dell'altra grandezza, che scriveremo sull'asse delle ordinate. Cosí troveremo la misura di un punto che ha una ben precisa distanza dai due assi: disegniamolo, e continuiamo a fare questo lavoro per altri valori delle grandezze. Alla fine avremo tanti punti, e collegandoli uno all'altro con un tratto continuo, avremo una "curva". Per un esperto, guardare quella curva sarà molto piú facile che leggere la formula e scrivere diecimila numeri!

In pratica, Cartesio ci ha fornito una geometria tradotta in formule matematiche e, viceversa, ci ha mostrato come si può trasformare una formula matematica in un disegno. Gli esperti hanno battezzato questa scienza "geometria analitica", e, senza essere degli specialisti, noi ce ne serviamo continuamente.

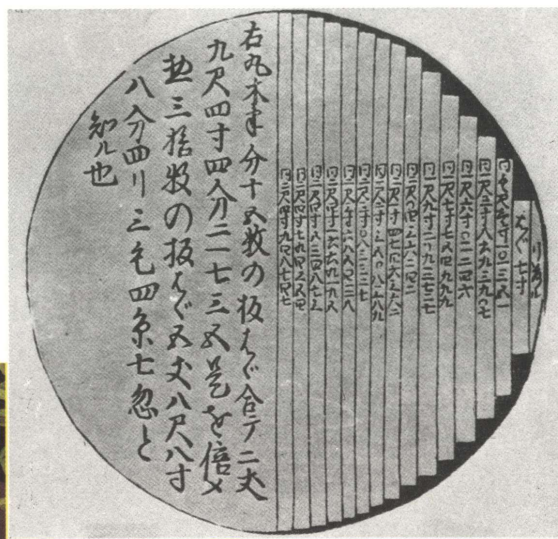
Ai tempi di Cartesio non esistevano riviste scientifiche, e nemmeno enciclopedie: gli scienziati pubblicavano qualche raro libro – la stampa era un'invenzione ancora piuttosto recente e la gente capace di leggere non era poi molta – ma piú spesso si scambiavano lettere fitte di idee, di proposte, di sfide: capitava che uno studioso scrivesse a un altro (che magari non aveva mai incontrato) proponendogli un problema astruso e incitandolo a trovare una soluzione. A volte, il problema era cosí complicato che aspetta ancor oggi una soluzione! L'Europa era avvolta in una fitta rete di corrispondenza, e gli scienziati diventavano forse piú celebri e potenti di quanto non succederebbe oggi; Cartesio, ad esempio, venne invitato dalla regina Cristina di Svezia a fondare un'Accademia delle Scienze a Stoccolma. Cartesio accettò, ma, nel gelido inverno svedese, morí di polmonite. Oggi, una lontana discendente di quell'Accademia assegna i premi Nobel, ma non c'è un Nobel per la matematica...

Quando Cartesio era già un uomo maturo e un matematico famoso, comparve sulla scena un giovanotto che aveva fatto la sua prima scoperta importante a sedici anni, un giovanotto che si chiamava Blaise Pascal. Nella sua breve

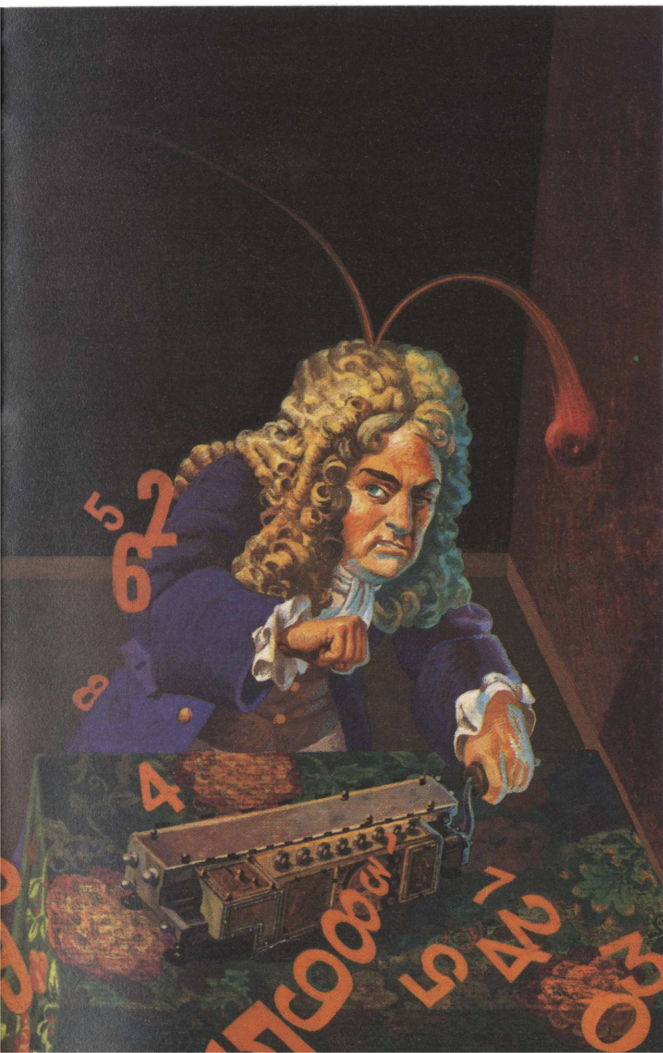
Il regno del caso: tavoli di roulette, di baccarat, di infiniti altri giochi d'azzardo nel piú grande Casinò di Las Vegas. Proprio con un gioco d'azzardo, quello dei dadi, cominciò quattro secoli fa lo studio della "teoria delle probabilità".

vita – morí prima di arrivare a quarant'anni – Pascal si occupò di matematica, di filosofia, di religione: fu un grande scrittore e anche un geniale inventore. Parleremo ancora di lui: a diciott'anni inventò quella che fu forse la prima calcolatrice automatica del mondo, e quindi possiamo considerarlo a buon diritto un "nonno" dei computer.

In fatto di matematica, Pascal diede l'avvio a una scienza che oggi impegna a fondo alcuni dei piú grandi computer: il calcolo delle probabilità. Cominciò quasi per gioco: cominciò, come tante altre cose a quei tempi, con la lettera di un amico. Una lettera che era un gioco: supponiamo, diceva l'amico, che un giocatore abbia diritto a tirare un dado otto volte: per vincere il premio in palio, deve fare 1. Per qualche strano motivo, però, dopo tre tiri deve interrompersi: riuscirà a vincere il premio? Che possibilità ha, il nostro giocatore?

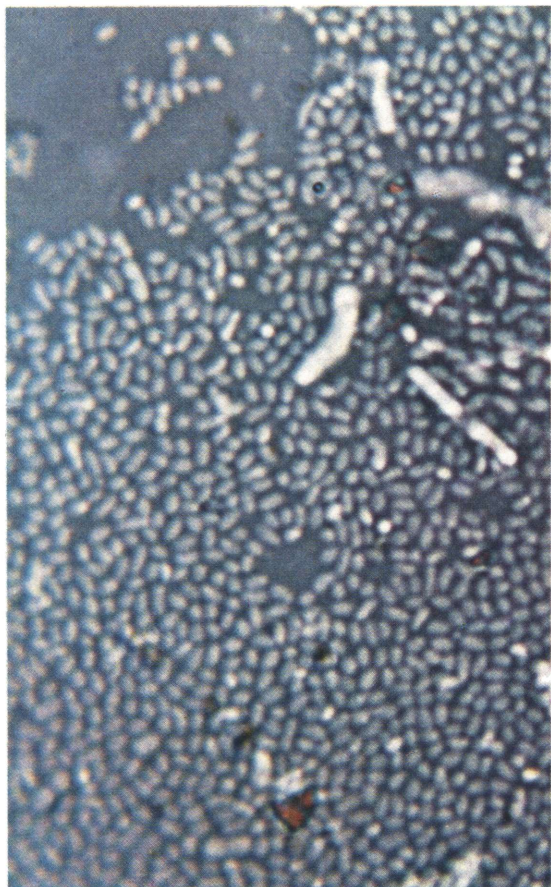
Pascal scrisse a un altro matematico francese, Fermat. E poi anche uno scienziato olandese, Huygens, venne coinvolto in quella corrispondenza, e da quelle lettere nacque un libriccino intitolato *Sul ragionamento nel gioco dei dadi*. Sembra un libretto di poco conto, no? Quasi un gioco, a sua volta: ma cosí nacque la "teoria delle probabilità".

Newton, Leibniz e la guerra matematica

Nel 1665, l'Europa fu percorsa da un terribile flagello: la Grande Peste. Le città si spopolarono; a Londra rimasero pochi sopravvissuti. Chi poteva, si rifugiava in campagna: anche uno studente di ventidue anni lasciò l'università per cercare riparo nella villa di sua madre.

A sinistra: ecco l'area del cerchio calcolata col sistema inventato da Newton e Leibniz. Si divide il cerchio in tante striscioline "fingendo" che siano rettangoli e ottenendo una figura che si avvicina a quella del cerchio. Ora basta sommare tutte le aree dei rettangolini: piú sottili saranno (addirittura infinitesimi) piú preciso sarà il risultato.
Nella tavola: il calcolo differenziale fu molto importante per la matematica, ma Leibniz va ricordato, parlando di computer, anche perché inventò una delle prime calcolatrici meccaniche.

Quello studente si chiamava Isaac Newton, e nei mesi trascorsi in campagna ebbe le prime idee delle sue piú grandi scoperte: la legge della gravitazione universale (che regola il movimento dei corpi celesti... e la caduta dei corpi terrestri!), la natura dei colori e un nuovo, importantissimo tipo di calcolo: il "calcolo infinitesimale". Di cosa si tratta?

Proviamo a considerarlo come fece Newton. Ci sono grandezze che si modificano, che variano da un istante all'altro, e ne vediamo mille esempi ogni giorno: la velocità di un oggetto che cade, la temperatura di una pentola su un fornello acceso, la distanza percorsa da un'automobile in movimento. Variano tutte in modo continuo (cioè senza sbalzi improvvisi). Newton avrebbe detto che si tratta di grandezze che "fluiscono": ebbene, come possiamo valutare questo "fluire"?

Proviamo a pensare alla nostra auto che corre sull'autostrada. Se leggiamo sul contachilometri la distanza percorsa in un'ora, potremo calcolare una velocità media: per esempio, se in un'ora abbiamo fatto sessanta chilometri diremo che "in media" andavamo a sessanta all'ora. In quell'ora, però, probabilmente non abbiamo mantenuto sempre la stessa velocità: a volte siamo rimasti fermi in coda, a volte abbiamo accelerato per superare un camion. Potremmo calcolare con maggior precisione la velocità in un periodo di tempo piú breve, diciamo, in un minuto, poi in un secondo, finché il periodo di tempo sarà cosí breve (un tempo "infinitesimo") che potremo dire di aver calcolato la "velocità istantanea". Allo stesso modo si può poi calcolare la variazione di velocità nel tempo, avendo come risultato l'accelerazione.

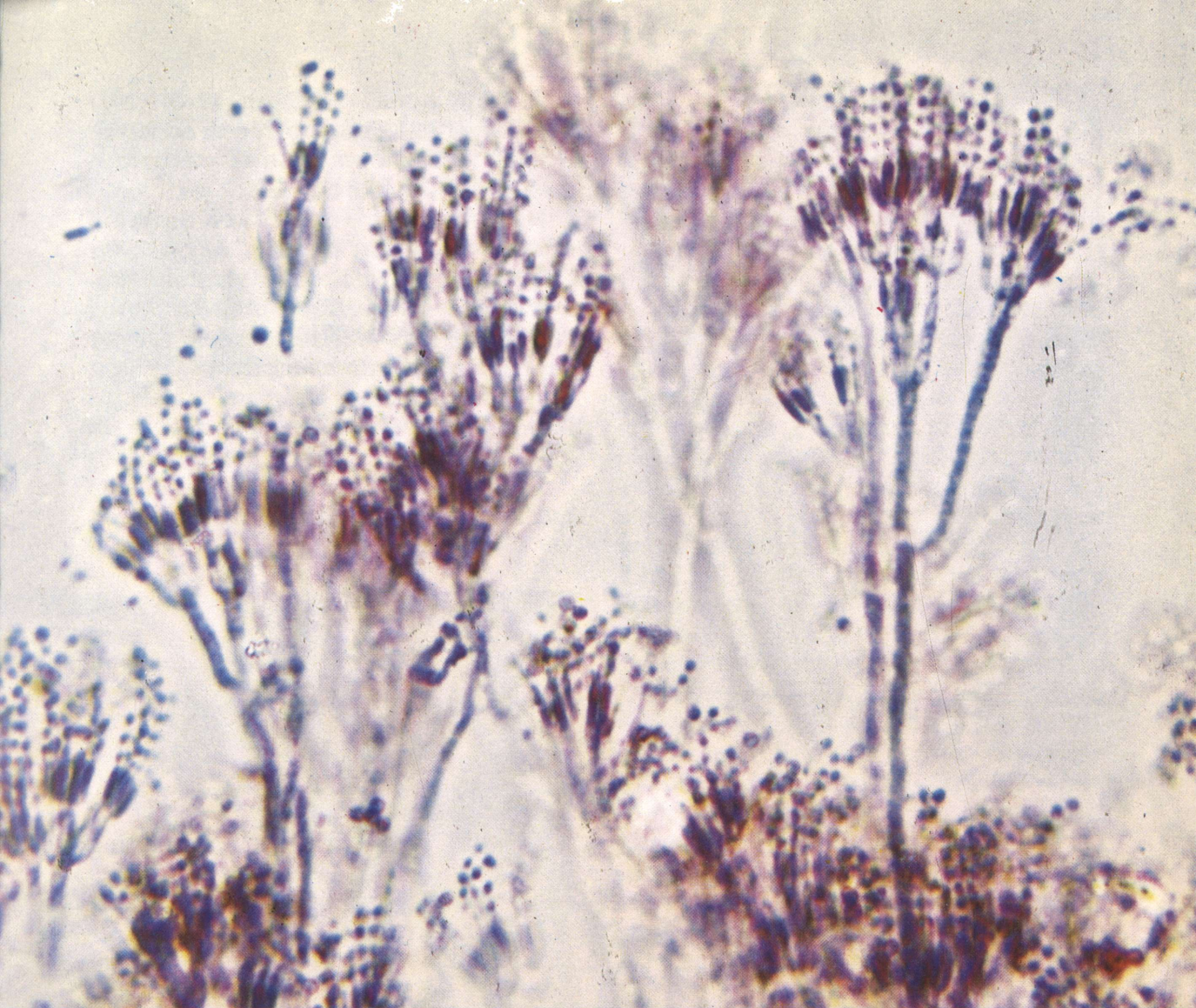
In sostanza, cosí si calcola la "velocità di variazione" di una grandezza; e non è sempre necessario calcolarla rispetto al tempo (cioè valutandola in un

Infinitesimo, cioè minuscolo: magari di "infinitesimi" possono essercene una grandissima quantità, come in questa colonia di microbi fotografata grazie a un potentissimo microscopio.

certo periodo di tempo). Ad esempio, potremmo calcolare la velocità di variazione del suono mano a mano che ci allontaniamo da un altoparlante (e allora la variazione sarebbe calcolata rispetto alla distanza).

In genere, questa velocità di variazione (Newton la chiamava "flussione", noi la chiamiamo "derivata") non sarà un semplice numero, ma sarà a sua volta una grandezza che varia secondo qualche regola piú o meno complessa. Trovare queste regole di variazione è uno degli scopi principali del calcolo infinitesimale, di cui Isaac Newton aveva avuto la prima intuizione durante i terribili giorni della Grande Peste. Un altro scopo è... esattamente l'operazione opposta!

C'è un problema tristemente noto a tutti gli studenti: trovare l'area di qualche strana figura geometrica ideata da un professore troppo fantasioso. Lo stesso problema ha perseguitato migliaia di studiosi per secoli e secoli: il modo di calcolare l'area del cerchio, per esempio, scatenò moltissimi matematici. Ma se abbiamo una figura molto bislacca possiamo benissimo pensare di tagliarla in "fettine" sottilissime (infinitesime o quasi) e di "far finta" che ognuna di queste fettine sia un rettangolo: questa volta l'area di un rettangolo la calcoliamo subito, base per altezza! E se sommiamo le aree di tutti i nostri sottili rettangoli avremo qualcosa di molto simile all'area della nostra strampalata figura geometrica. Piú numerose e sottili sono le fettine, piú vicini andremo all'area vera e propria: naturalmente, dovremo sommare una quantità enorme di aree infinitesime.

Newton passò almeno una decina d'anni a perfezionare queste sue prime idee sul calcolo infinitesimale: e nel frattempo, in Germania, un altro giovanotto stava occupandosi piú o meno degli stessi problemi. Si chiamava Gottfried Leibniz, e oltre ad essere uno scienziato era anche un diplomatico, ma, come vedremo, quando si trattava di matematica la diplomazia gli mancava!

Leibniz scoprí a sua volta il metodo per calcolare le variazioni di velocità (lo chiamò "calcolo differenziale") e quello per calcolare le aree (lo chiamò "calcolo integrale", e i nomi sono gli stessi che si usano ancor oggi) e scrisse lunghi trattati sulle sue scoperte. Naturalmente, Newton se ne risentí... nel mondo del '700 i viaggi non erano facili, le informazioni circolavano con difficoltà, ma gli studiosi tenevano anche allora ad essere "i primi" sulla difficile strada della scienza. Scoppiò una vera e propria guerra matematica che coinvolse allievi

Una coltura di penicillina: è, ancora una volta, un fortissimo ingrandimento. Ricorrere al "sempre piú piccolo" per comprendere fenomeni anche imponenti è qualcosa che si fa in tutti i rami della scienza: e la matematica degli "infinitesimi" è uno strumento prezioso, per questo.

e colleghi dei due protagonisti: ben presto alle ragioni scientifiche si aggiunsero passioni nazionalistiche, perché in Germania si sosteneva che Leibniz era stato il primo, mentre in Inghilterra non si voleva cedere nella difesa di Newton. Nella realtà, Newton aveva scoperto il calcolo infinitesimale per primo, ma Leibniz non aveva saputo nulla di quegli studi e aveva raggiunto di nuovo, indipendentemente, gli stessi risultati. La guerra però fu cosí aspra, cosí rovente, che per un secolo intero i matematici inglesi rifiutarono di avere a che fare con quelli di origine tedesca.

Tutto questo non impedí agli scienziati di utilizzare il calcolo infinitesimale per risolvere problemi di ogni tipo. Dalla fisica all'astronomia, dalla chimica all'ingegneria, se le scienze in questi due secoli hanno potuto progredire, è stato anche grazie a questo potente strumento che Newton e Leibniz hanno creato. E oggi, naturalmente, questo strumento è stato adattato anche ai computer.

Il secolo della ragione

La gente ha un'idea un po' strana dei matematici: sono distratti, hanno la testa nelle nuvole; oppure sono freddi professori che rivolgono spietate domande a poveri studenti terrorizzati. Insomma, sono esseri fuori dal mondo.

Non è cosí, ovviamente: i matematici sono persone come le altre, e molti di loro – da Pitagora duemilacinquecento anni fa fino a Bertrand Russell nel nostro secolo – hanno partecipato alla vita della società che li circondava, occupandosi di problemi pratici altrettanto bene che di teoremi. Forse il secolo in cui questo impegno sociale fu piú forte fu il Settecento; oppure, chissà, di fatto era la società del Settecento piú disposta ad accettare il loro lavoro. Dopo tutto, quello era il secolo della ragione!

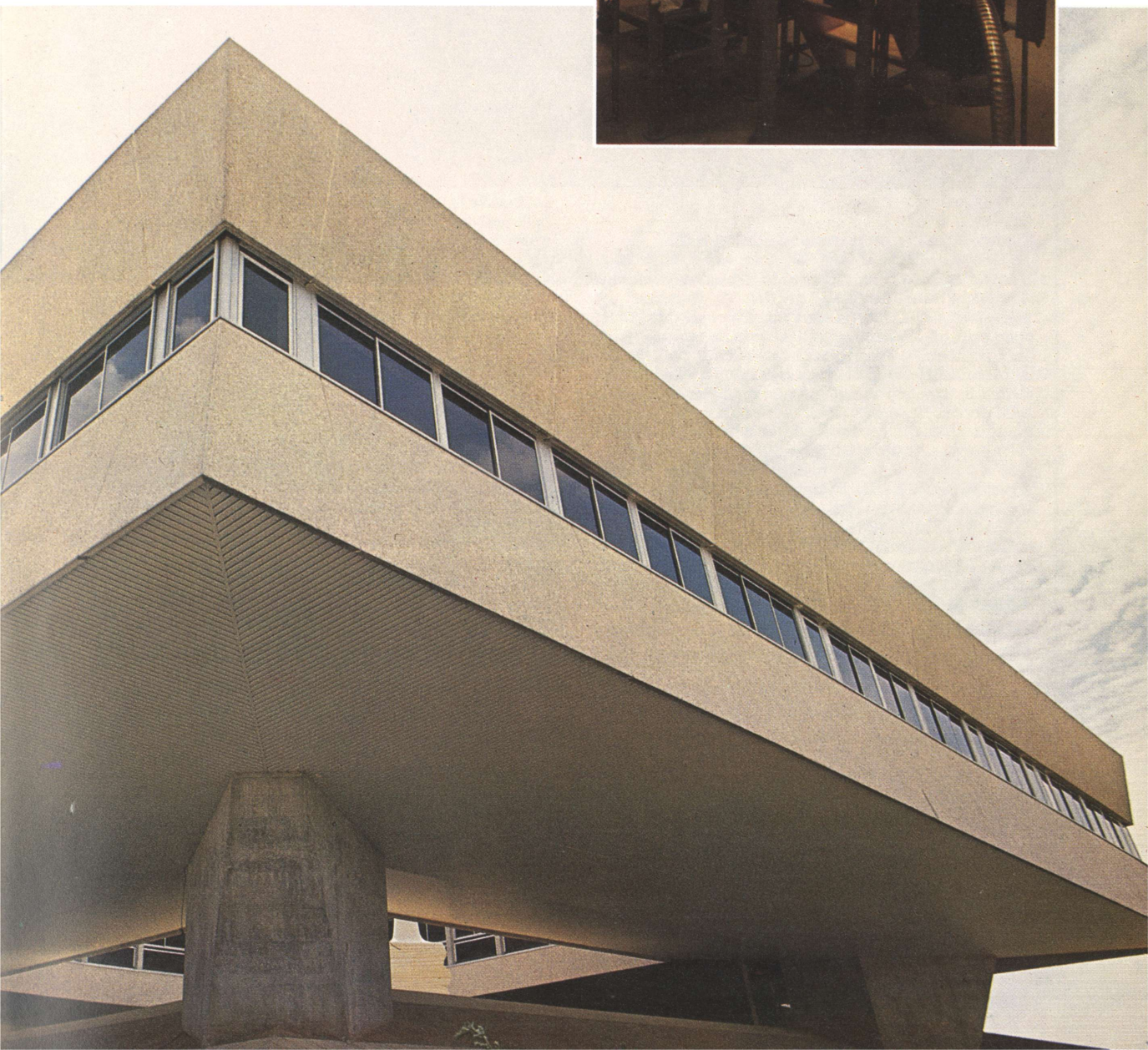
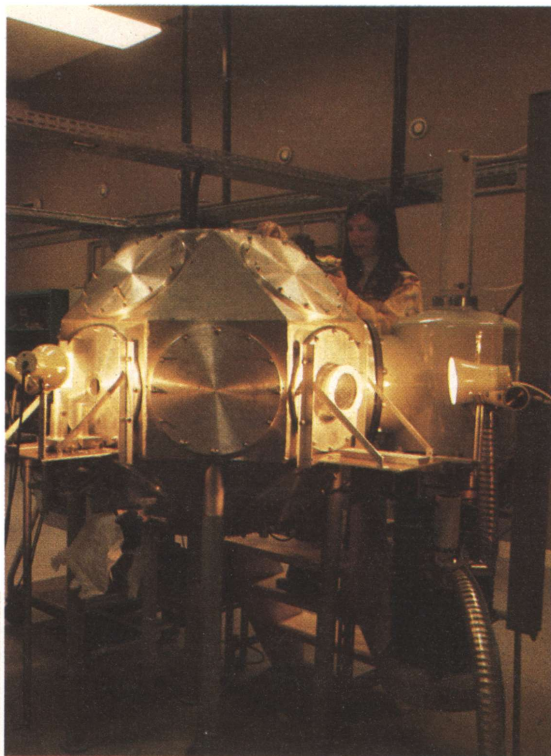
Era il secolo in cui lo zar e il re di Prussia si contendevano un matematico come Eulero; il secolo in cui un altro matematico come D'Alembert preparava la via per la Rivoluzione Francese. Eulero e D'Alembert scrissero molti trattati e si interessarono di una quantità di problemi, comprese quelle che oggi chiameremmo scienze sociali, usando la matematica, naturalmente!

Nel Settecento si cominciò a occuparsi di problemi come la speranza di vita di una persona (cioè la probabilità che un bambino appena nato ha di raggiungere una certa età) oppure la vita media, o la rendita che si poteva ricavare da un vitalizio... o anche la probabilità di vincere una lotteria (le lotterie erano di gran moda già allora)!

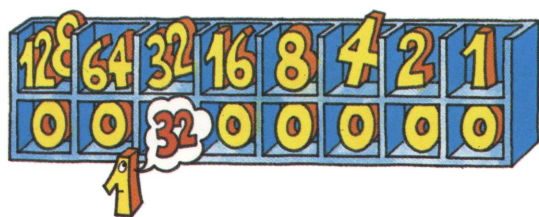
I matematici di quel secolo discussero a lungo sui vantaggi di una nuovissima cura importata dall'Oriente: la vaccinazione contro il vaiolo. Se ne occuparono in termini di teoria delle probabilità, naturalmente: e pensate che nel 1760 i matematici calcolarono che un bambino aveva buone probabilità di vivere solo fino a otto anni, e che la vita media arrivava a malapena a ventisei anni (oggi, in Europa, si aggira intorno ai settantacinque anni: dopo tutto, il progresso non ha portato solo guai!).

Non c'è da stupirsi se molti matematici parteciparono attivamente alla vita politica, visti i risultati dei loro calcoli. Durante la Rivoluzione Francese, fra i vari progetti rivoluzionari ve ne furono alcuni decisamente scientifici (il che non impedí che alcuni scienziati venissero imprigionati o addirittura uccisi sulla base di assurde accuse), a cominciare dalla grande "riforma dei pesi e delle misure": il metro o il chilogrammo o il

litro non sono certo unità di misura tradizionali! Furono i matematici francesi dell'Accademia delle Scienze a stabilire queste particolari unità, e addirittura a scegliere come sistema universale quello decimale: per la precisione, fu un matematico di nome Lagrange a combattere in difesa del sistema decimale (alcuni colleghi avrebbero preferito la base do-

A destra e sotto: l'*École Polytechnique* fu la prima delle università tecniche (i Politecnici, appunto) che nell'Ottocento nacquero in varie nazioni europee. Oggi, la celebre scuola francese ha una sede modernissima e laboratori avveniristici.

dici) e fu l'accuratezza con cui un altro matematico, Legendre, aveva calcolato la lunghezza del meridiano terrestre, a spingere gli Accademici a scegliere come unità universale di lunghezza la decimilionesima parte della distanza fra l'equatore e il polo: cioè il nostro metro.

Nacque cosí il "sistema metrico", che Napoleone portò in tutto il resto dell'Europa continentale, e che nell'ultimo decennio ha cominciato a conquistare anche il mondo anglosassone.

Un'altra pacifica rivoluzione voluta dai matematici riguardava le università. Fino ad allora l'insegnamento scientifico era stato spesso piuttosto vago (un matematico svizzero esordí all'Accademia di Pietroburgo insegnando medicina!) e non esistevano corsi di laurea specialistici in medicina o in fisica o in ingegneria; un ingegnere, ad esempio, doveva buona parte della sua educazione a qualche collega piú anziano nel cui studio cominciava a lavorare. E d'altra parte, Newton aveva studiato teologia e filosofia oltre alla matematica e alla fisica. Un sistema del genere non creava certo problemi agli autentici geni, ma non permetteva nemmeno di preparare le centinaia di specialisti che la società

Numeri e "basi": come contano i computer?

Quando scriviamo un numero, lo pensiamo composto di unità, decine, centinaia, migliaia (le "potenze" del dieci); scrivere 127 è un maniera veloce di dire "sette volte uno piú due volte dieci piú una volta cento (cioè dieci per dieci)". I matematici chiamano il dieci "la base" del nostro modo di rappresentare i numeri: è senz'altro la base piú usata, ma non è affatto universale. Altri popoli, in passato, hanno usato basi diverse; e anche noi a volte lo facciamo, come quando parliamo di "una dozzina di uova" (stiamo usando la base dodici!). Fino a pochi anni fa, in Inghilterra, la sterlina non era divisa in cento centesimi, ma in dodici scellini, e uno scellino era fatto di venti pence. Due basi, addirittura!

Sempre in Inghilterra un tempo si usava misurare i liquidi - be', diciamo, la birra - con delle curiose unità di misura che erano ognuna il doppio di quella immediatamente piú piccola e la metà di quella immediatamente piú grande, cosí:

si cominciava con il *gill* (un bicchiere molto piccolo)
poi c'era un *chopin* che valeva due gill
e poi una *pinta* che valeva due chopin
e dopo veniva il *quart* che valeva due pinte...

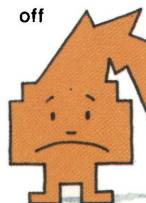
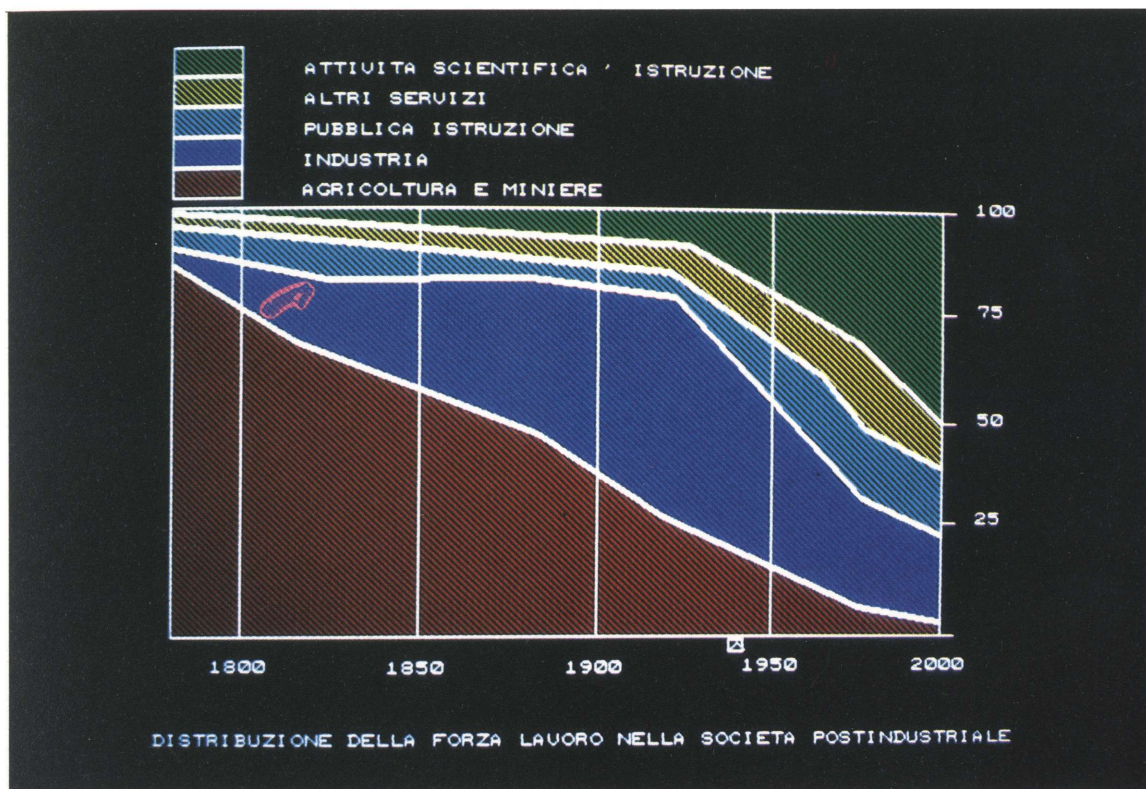
In un sistema del genere, la base è in realtà la piú piccola che ci possa essere: il due. Esattamente la stessa base che viene usata "all'interno" dei calcolatori elettronici.

Quando si dice base, si specifica anche il numero di cifre differenti (di simboli) che si hanno a disposizione: in base dieci abbiamo dieci cifre: da 0 a 9. In base due, le cifre sono solo due: 0 e 1. Eppure ci bastano per rappresentare qualunque numero, per grande che sia; basta metterne tante in fila. Se in base dieci abbiamo le cifre decimali, in base due parliamo di cifre binarie ("binario" deriva dalla parola latina *bini*, cioè "due per volta") e l'abbreviazione che usano gli esperti per "cifra binaria" è... ma oramai la conoscono tutti: "BIT!"

Dunque, vediamo come è fatto un numero binario. Lo zero si scrive 0, l'uno si scrive 1: e 2? Ebbene, due significa " 0 volte l'unità piú 2 volte due": se cominciamo col battere lo zero nella posizione piú a destra e poi i bit "piú pesanti" man mano piú a sinistra, il nostro due si scriverà 10. E il 3 è "una volta 1 piú una volta due", cioè 11; e il 4 significa "nessuna unità, nessun due, una volta due per due", cioè 100; e cosí via. Se guardiamo un numero binario piú lungo, per esempio 10101, come facciamo a calcolare il suo valore nella nostra base dieci?

A destra c'è 1: quindi	1 volta 1
Poi uno 0:	0 volte 2
Poi un 1:	1 volta 2×2
Poi uno 0:	0 volte $2 \times 2 \times 2$
Poi un 1:	1 volta $2 \times 2 \times 2 \times 2$
In definitiva, $1 + 4 + 16 = 21$	

Insomma, se diciamo che la casella piú a destra "pesa" 1, quella piú a sinistra pesa due volte tanto (cioè 2), quella piú a sinistra ancora due volte tanto (cioè 4), e via di questo passo: otto, sedici, trentadue...

Una volta che si sa quanto pesa una casella, basta moltiplicare il peso per la cifra scritta in quella posizione (una moltiplicazione molto semplice!) e poi sommare tutti i risultati: ecco ricavato il numero nella nostra familiare base dieci.

Una statistica al computer... rappresentata con un diagramma cartesiano! Riguarda il numero (in percentuale) di persone impegnate nei vari lavori durante gli ultimi secoli: su 100 persone, diminuisce continuamente il numero dei contadini mentre aumenta quello degli operai, degli impiegati, e anche... degli studiosi e degli scienziati.

cominciava a chiedere. Alcuni scienziati francesi - guidati da due matematici, Monge e Carnot - proposero una soluzione a questo problema fondando nuove università, a cominciare dalla *École Polytechnique* di Parigi.

Tutti i matematici francesi insegnarono in queste scuole (che esistono ancor oggi). La loro saggia imparzialità, però, non li mise al riparo dalle traversie politiche: Carnot, che era stato ministro della guerra durante la Rivoluzione e aveva riorganizzato su basi scientifiche l'esercito, ottenendo ottimi risultati, fu destituito dal suo posto di professore di geometria, e in sua vece venne nominato un certo generale Napoleone Bonaparte...

La guerra della statistica

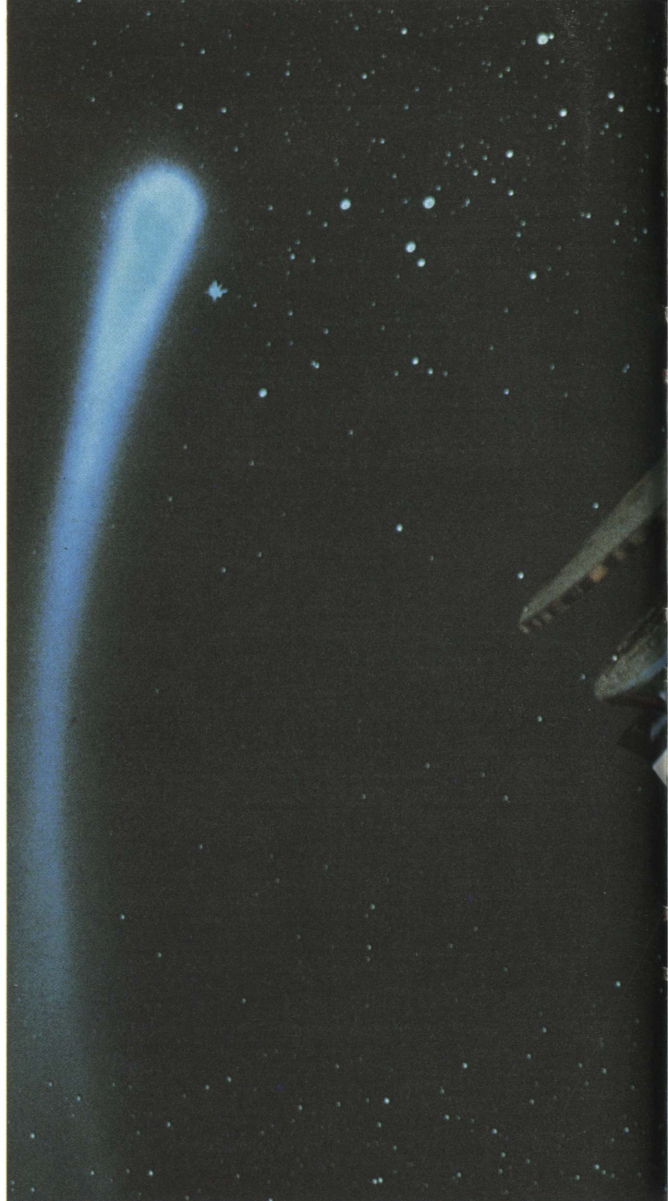
Verso la fine del '700, certo, fra tedeschi e francesi c'erano diversi motivi di rancore; i principi tedeschi non avevano nessuna simpatia per i rivoluzionari francesi, e viceversa... Ma fra tante questioni politiche, ecco scoppiarne una matematica: una piccola guerra della statistica tra un francese, Legendre, e un tedesco, Gauss: come al solito, si trattava di decidere chi dei due aveva raggiunto per primo un certo risultato!

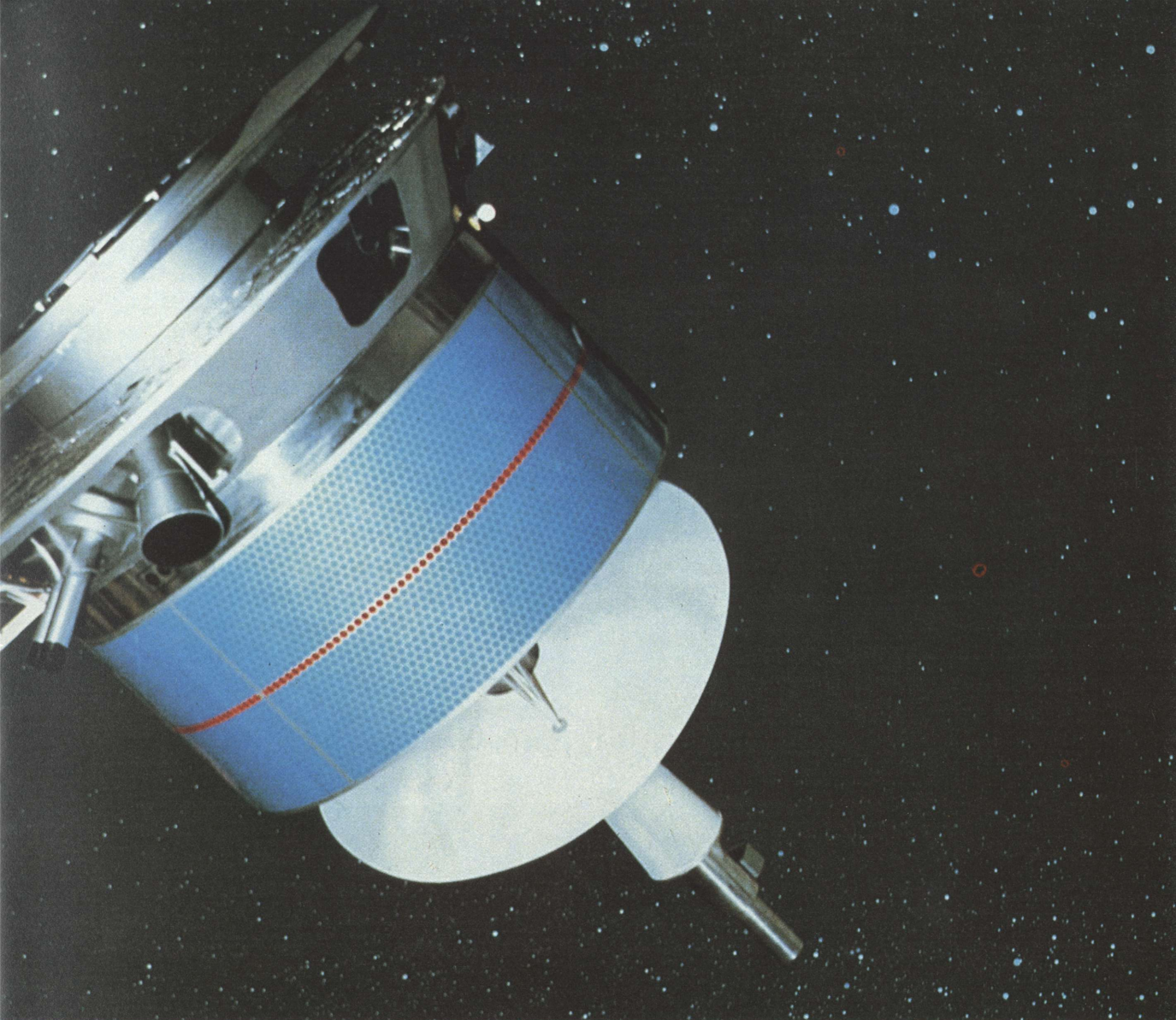
Fino ad allora, "statistica" significava solo una raccolta di informazioni del tipo "fra i bambini nati l'anno scorso, quanti erano maschi e quante femmine?". Quando però si sviluppò la teoria delle probabilità, i matematici scoprirono che unendo la teoria delle probabilità alle statistiche si potevano anche fare delle previsioni "ragionate" su quello che avrebbe potuto accadere in futuro. Naturalmente, perché queste previsioni

– ma sarebbe meglio parlare di deduzioni! – abbiano un senso, occorre che i dati raccolti sugli avvenimenti passati siano molto numerosi e corretti; anzi, riuscire a superare gli errori dei dati o a supplire alla mancanza di informazioni sono proprio due fra i problemi per cui i matematici cercano una via d'uscita.

Per tornare alla nostra guerra, Gauss aveva battuto Legendre, in realtà, ma il francese non era poi tanto colpevole se ignorava la cosa: infatti Gauss non era tipo da pubblicare libri di matematica in gran numero o da presentare memorie a qualche Accademia delle Scienze, come facevano i suoi colleghi! Aveva l'abitudine di annotare le sue idee nelle pagine di un sottile *Diario* cominciato quando aveva diciannove anni; oppure magari sul rovescio di vecchie lettere, o sul frontespizio di un libro... per decenni, poi, tutti gli altri matematici avrebbero dovuto studiare faticosamente quegli scarabocchi, per confrontarsi con le sue geniali dimostrazioni!

Karl Gauss era figlio di un artigiano che non avrebbe voluto farlo studiare: nella vecchia Germania del '700 un figlio di povera gente non poteva certo aspirare a un brillante futuro. Il piccolo Karl, però, aveva cominciato sconcertando il maestro di scuola con la sua incredibile velocità nel fare i calcoli, e la fama del ragazzino prodigio aveva rapidamente raggiunto il duca di Braunschweig, che aveva personalmente provveduto a fargli frequentare liceo e università.

I risultati che Gauss raggiunse in vari campi della matematica furono molti, e tutti importanti: a volte, nei primi tempi dei suoi studi, riaffrontò problemi che erano già stati studiati in passato, trovandone nuove, brillanti soluzioni. Ma quel che cercava non erano il potere accademico e gli onori che piovevano sui suoi colleghi francesi, come Monge, che era stato addirittura ministro della marina. Successo, per lui, era un posto all'osservatorio astronomico di Göttingen, e uno studio tranquillo in cui lavorare a qualche problema astruso...

Cosí, quando nel 1801 gli astronomi scoprirono un nuovo asteroide (e lo chiamarono Cerere) e poi subito lo "persero" (era tanto piccolo che inseguirlo con i telescopi dell'epoca non era facile!), Gauss inventò un metodo matematico per calcolare la traiettoria di Cerere – sulla base delle osservazioni che erano state fatte in precedenza e dei probabili errori che esse contenevano – e valutò esattamente il punto dove l'asteroide sarebbe ricomparso. E Cerere fu fedele all'appuntamento...

Il modello della sonda spaziale *Giotto*, che ha un appuntamento con la cometa di Halley. Calcolare la traiettoria di corpi celesti remoti non è un problema da poco: Gauss fu tra i primi a occuparsene, nel 1800.

Occorre un po' di logica...

Per molta gente, ancor oggi, matematica significa numeri, e conoscere la matematica vuol dire saper fare i conti. E logica, in cambio, è qualcosa che ha a che fare col ragionamento, con leggi del pensiero, con quella che chiamiamo comunemente filosofia...

Nella prima metà dell'Ottocento, in Inghilterra, comparvero due scienziati che sconvolsero queste idee preconcette e crearono la "logica matematica"; si chiamavano George Boole e Augustus De Morgan. Non avrebbero potuto essere piú diversi, per nascita: Boole figlio di un povero bottegaio che gli aveva fatto frequentare solo le scuole elementari, De Morgan rampollo di un ufficiale della Compagnia delle Indie Orientali ed educato a Cambridge; eppure divennero amici (grazie alla matematica) e insieme fondarono un ramo della matematica completamente nuovo: la logica mate-

matica, appunto. Quella logica che guida il funzionamento del computer.

Nasceva la matematica pura che non aveva piú a che fare con grandezze e numeri, ma era piuttosto un metodo di ragionare. Non per nulla, il primo importante libro di Boole si intitolava *Esame delle leggi del pensiero*!

Boole parlava di "insiemi", di "raccolte" di oggetti (o anche persone, perché no?) che hanno una qualche caratteristica comune; e indicava con 1 l'insieme "universale", o meglio, l'"universo del discorso" (l'insieme di cui ci occupiamo quando facciamo un particolare studio, insomma) o con 0 l'insieme vuoto, che non contiene nulla. Per esempio, l'universo del discorso potrebbe essere l'insieme di tutti gli studenti di scuola media; e naturalmente in questo universo ci sono tanti sottoinsiemi, gruppi piú piccoli che hanno qualche altra caratteristica comune: il sottoinsieme di tutti gli studenti che hanno dodici anni, quello di tutti gli studenti coi capelli biondi, e cosí via.

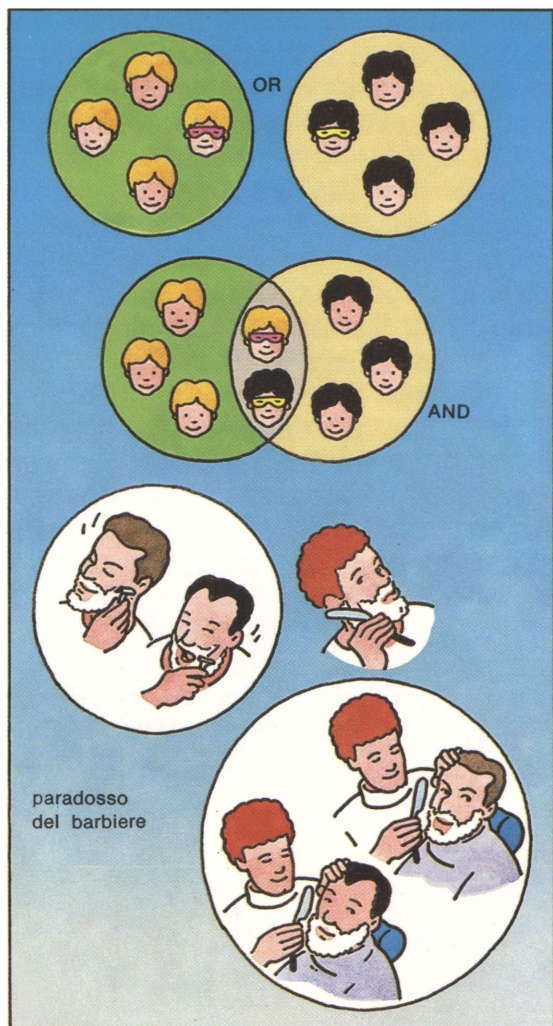
Non abbiamo visto nemmeno un numero, finora: eppure possiamo definire delle operazioni logiche, o matematiche, se preferiamo. Possiamo parlare di una somma, o per essere piú precisi, della "unione": proviamo a pensare a tutti i ragazzi che sono studenti di seconda media *oppure* hanno i capelli biondi (e anche a quelli che hanno tutte e due le caratteristiche) e avremo la "somma logica" dei due sottoinsiemi. Se invece ci occupiamo solo di quelli che studiano in seconda media *e* contemporaneamente hanno i capelli biondi avremo la "intersezione" dei due insiemi: qualcosa che si chiama anche "prodotto logico" (e poiché *oppure* ed *e* in inglese si dicono *or* e *and*, le due operazioni si chiamano appunto anche OR e AND). Poi possiamo pensare a tutti coloro che

non sono studenti di scuola media, cioè a tutte le persone che non appartengono al nostro universo del discorso. Anche loro formano un insieme, naturalmente; un insieme che otteniamo come "la negazione" del nostro insieme di partenza (il NOT, appunto).

Partendo da queste poche definizioni, Boole e De Morgan idearono un'intera nuova algebra: la chiamiamo "algebra di Boole". È un'algebra in cui un oggetto può essere vero o falso (a seconda che appartenga o meno all'universo di cui si parla); niente numeri, ma solo due simboli, e di certo non ci sono veri e propri "conti"!

Un bell'esempio di applicazione della logica matematica - un'applicazione un poco bizzarra, d'accordo! - la si trova in due libri che si intitolano... *Alice nel Paese delle Meraviglie* e *Alice nello specchio*. Perché, già, il signor Lewis Carroll, nella vita d'ogni giorno, era il professor Charles Dodgson, celebre studioso di logica matematica, appunto; e quando scrisse le sue storie per una bambina amica, si divertí a travestire da favola anche la logica matematica.

Forse una simile strana matematica sarebbe rimasta nulla piú che una curiosità per pochi scienziati, se fin dall'inizio non si fosse scoperto che era adattissima a una bizzarra macchina ideata da un altro ex-allievo di Cambridge, Charles Babbage. Una macchina complicatissima, che non funzionò mai ma che per noi è straordinariamente importan-

La povera Alice si accorge che i discorsi del Cappellaio Matto e della Lepre Marzolina rispettano, sí, le leggi della grammatica, ma non vogliono dir nulla... Il "papà" di Alice, che nella vita quotidiana era un professore di logica matematica, travestí da favola un punto molto importante della logica: pur rispettando le forme, ovvero la "sintassi", non è detto che questo soddisfi il significato, cioè la "semantica"!

te: era il primissimo vero computer. Oggi, l'algebra di Boole è la base matematica con cui si progettano tutti i circuiti dei calcolatori elettronici, dai piú semplici fino ai supercomputer usati per guidare le sonde interplanetarie.

Nel nostro secolo, la logica matematica ha trovato un grande studioso in un altro inglese, Bertrand Russell; uno studioso che un giorno definí la matematica come la materia « in cui nessuno sa di che cosa parli né se ciò che dice sia vero » (evidentemente, anche lui si divertiva a prendere un po' in giro i matematici...)! Uno studioso che identificava la matematica con la logica (dopo tutto, ricevette il premio Nobel per la letteratura, non per la scienza) ma che precipitò i suoi colleghi in un totale disorientamento presentando i suoi *Paradossi*, che erano perfettamente logici ma totalmente assurdi! Vogliamo farne esempio?

Pensiamo di avere un sindacato, una classe: insomma, un insieme di barbieri che fanno la barba *solo* agli uomini che non si radono da sé, e prendiamo uno di questi barbieri: il signor Rossi. Si dà il caso che il signor Rossi si rada da solo, com'è abbastanza ragionevole. Però, un momento, a questo punto il signor Rossi rade anche qualcuno che si fa la barba da sé (se stesso, sicuro!): quindi non può piú appartenere all'insieme a cui appartiene... poveri noi, che confusione! Il guaio è, come avrebbe riconosciuto subito Alice, che abbiamo applicato le regole della logica matematica senza preoccuparci del significato.

Ma che cos'è, in definitiva, la matematica? Uno strumento...

Si parlava di coloro che giudicano la matematica una raccolta di regole e teoremi buoni solo a far dannare gli studenti. In realtà, la matematica viene applicata (cioè usata) in un'infinità di campi molto pratici: dal calcolo della struttura di un ponte alla valutazione dell'efficacia di un medicinale, dalle decisioni organizzative di una grande industria alla scelta del percorso migliore per una linea della metropolitana. Senza questa matematica applicata, i computer non avrebbero certo conquistato l'importanza che oggi hanno.

Di che cosa si tratta? Naturalmente, tutto dipende dal problema. Se vogliamo lanciare una sonda interplanetaria fino a Giove, dobbiamo calcolare la traiettoria che la nostra sonda percorrerà nello spazio e valutare esattamente la potenza del razzo capace di fargliela percorrere; un errore da nulla sarebbe sufficiente a far cadere la sonda su un

pianeta diverso o a farla perdere nello spazio. In questo caso, dovremo studiare le leggi fisiche che guidano il movimento dei pianeti, dei satelliti, di tutti gli oggetti negli spazi interplanetari, e scrivere le equazioni matematiche che rappresentano la traiettoria della sonda, il funzionamento del razzo e cosí via. Risolvere un problema di questo genere coinvolge un bel po' di calcoli niente affatto semplici, che per di piú devono esser fatti in pochissimi secondi ("in tempo reale", direbbero gli esperti): ecco come mai è indispensabile il computer.

E la scelta del percorso della metropolitana? Il tipo di matematica che dovremo usare cambia: per cominciare, occorre costruire un "modello matematico" della città e della gente che ci abita! Occorre, cioè, raccogliere dei dati e studiare delle regole matematiche che rappresentino in modo abbastanza fedele la realtà, o, per meglio dire, quella parte di realtà che ci interessa: nel nostro caso, dovremo trovare delle equazioni che ci permettano di calcolare il

A fronte: un po' di insiemi. Prima di tutto, ci sono gli insiemi di "tutti i bambini biondi" e "tutti i bambini bruni" (alcuni hanno gli occhiali): la loro "intersezione" è l'insieme di tutti i bambini con una caratteristica comune, cioè tutti i bambini con gli occhiali. E gli altri insiemi? Sono quelli del "paradosso del barbiere", col povero barbiere che non ha un insieme per sé...
Sotto: la matematica è uno strumento per... costruire New York!

numero di persone che salgono sul metrò nelle varie ore del giorno, il tipo e la lunghezza del percorso che scelgono e cosí via. Naturalmente, le equazioni non ci diranno che martedí pomeriggio alle cinque Carlo Rossi è andato da piazza del Duomo alla stazione: ci diranno che, con una forte probabilità, alle cinque del pomeriggio di un giorno feriale, venti persone (in media) vogliono usare il metrò sul tratto fra piazza del Duomo e la stazione.

Fatto questo modello, possiamo simulare gli avvenimenti reali: questo significa assegnare un particolare valore a qualche grandezza e calcolare il comportamento delle altre. E, grazie a metodi matematici complessi, finalmente potremo trovare il tracciato ottimale per la nuova linea della metropolitana, cioè il tracciato che permette al maggior numero possibile di persone di arrivare comodamente a casa o sul luogo di lavoro senza fare lunghe code, ma anche evitando che i treni viaggino troppo spesso vuoti (sarebbe uno spreco di denaro!).

Sono ancora i modelli matematici e la statistica che ci permettono di guidare un'azienda scegliendo la strategia piú adatta per la produzione, le assunzioni, gli acquisti e le vendite: alla vecchia somma di esperienza e intuito si sostituiscono i calcoli e la teoria delle probabilità. Naturalmente, non potremo mai dire che certamente accadrà qualcosa, che certamente scopriremo dieci nuovi pozzi di petrolio, o riusciremo a vendere dieci milioni di giocattoli brevettati o faremo splendidi affari acquistando certi titoli di borsa. Potremo solo affermare che, con novantanove probabilità su cento, tutto questo si avvererà.

E si avvererà? Be', a patto che... che il nostro modello matematico rappresenti veramente la realtà. A patto che non ci sia qualche imprevisto di cui non avevamo tenuto conto e che butti tutto all'aria. Un esempio?

Una dozzina d'anni fa i fabbricanti di orologi fecero un modello matematico riguardo alla compravendita di orologi. Raccolsero una quantità di statistiche sul tipo di orologi che la gente preferiva, le occasioni in cui li comperava, le preferenze dei pensionati tedeschi e quelle degli scolaretti francesi; costruirono un modello matematico straordinariamente dettagliato, e da tutte quelle informazioni dedussero i loro piani di produzione per gli anni successivi.

Ma accadde qualcosa di perfettamen-

te imprevisto, che mandò all'aria il modello e le statistiche e mandò in rovina molti di quegli orologiai.

Tutte quelle statistiche riguardavano i vecchi orologi con la cassa metallica e le lancette. Ma proprio allora i giapponesi presentarono sul mercato gli orologi elettronici digitali, quelli di plastica, quelli che fanno anche i conti e vi suonano una canzoncina. Il modello matematico non aveva tenuto conto di una simile eventualità!

Per aiutare a progettare la metropolitana, il computer ha bisogno di molte informazioni. La pianta della città, per cominciare (non si può scavare il metrò nella cantina delle case!); poi la pianta della "città nascosta": tubazioni dell'acqua e delle fognature, cavi elettrici e telefonici, pozzi e, nelle città antiche come quelle europee, ruderi di monumenti che non possono essere distrutti. Poi occorre sapere in quali direzioni e su quali percorsi si muove la gente nelle varie ore. Il computer "macina" tutti questi dati e presenta al progettista dei suggerimenti (meglio evitare questa zona, qui invece ci si potrebbe muovere...): a questo punto il progettista propone un percorso e il computer "simula" la realtà, cioè calcola come andrebbero le cose se ci fosse questa linea del metrò...

Alla ricerca d'una tecnologia

Qual è il problema?

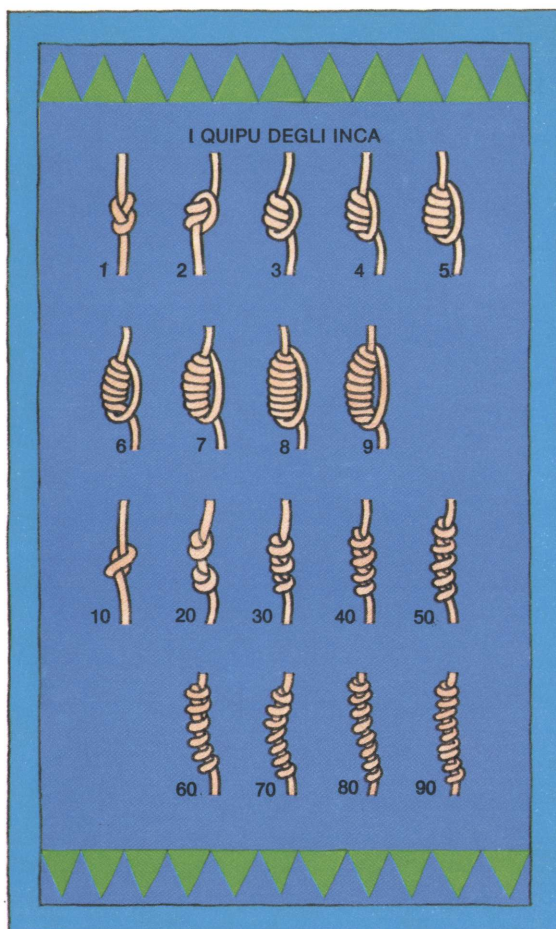
Il problema nasce coi numeri: qualunque bambino che in prima elementare si scontra con i suoi "conticini" potrebbe spiegare di che cosa si tratta. Sarebbe cosí comodo avere una macchina che faccia quei benedetti conticini!

E poi, una macchina del genere riuscirebbe utile in tanti altri casi. Provate a pensare che lavoro infernale doveva essere fare un censimento prima che ci fosse un qualche tipo di centro meccanografico... e fare un dizionario, poi! Tenere in ordine migliaia e migliaia di schede, una per ogni parola, e fare tutto a mano! Per non parlare dell'inventario dei magazzini di una grande industria, delle prenotazioni dei posti sugli aerei, dell'anagrafe di una grande città...

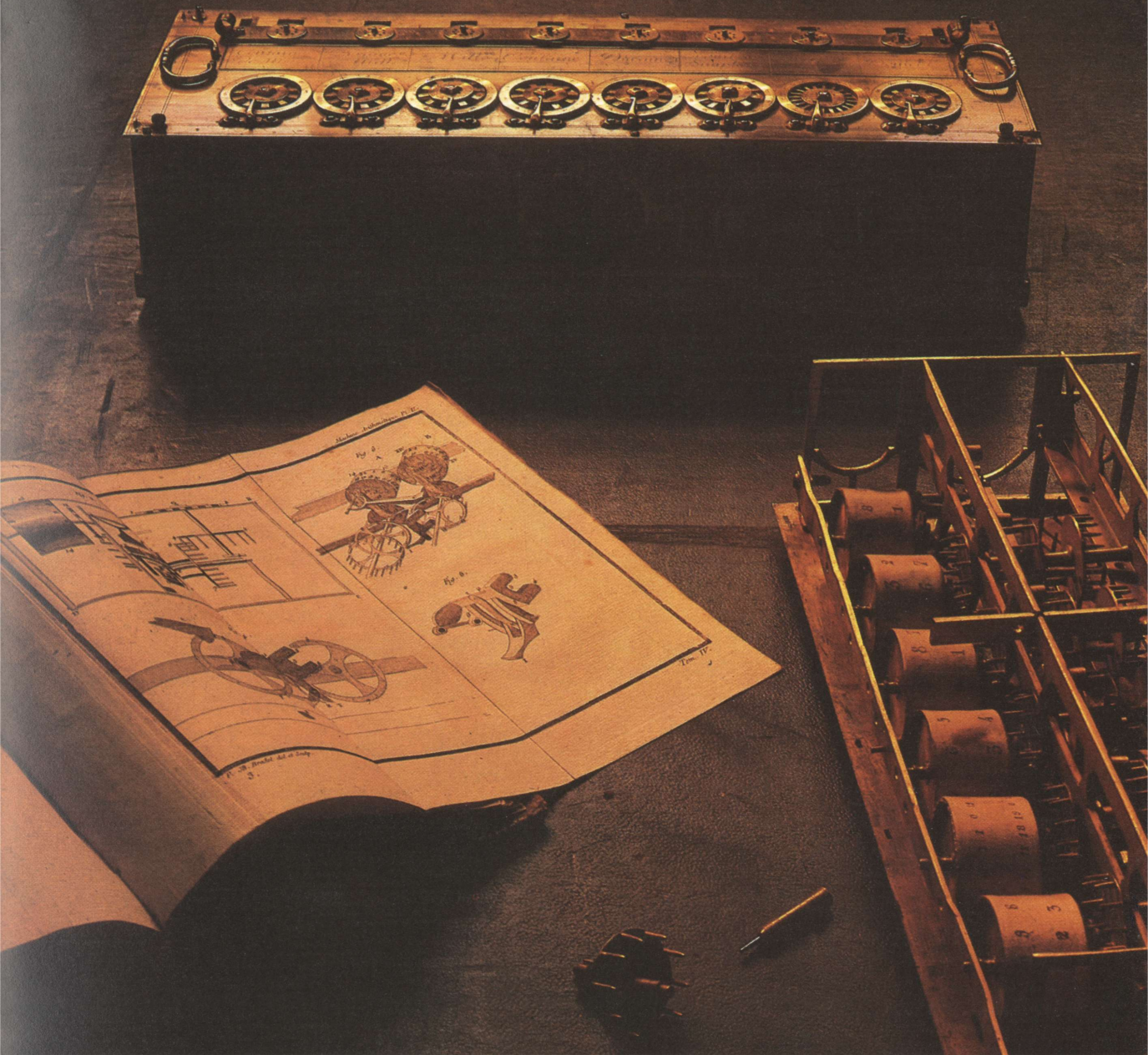
Occorre costruire una macchina che lavori su delle informazioni: possono essere dei numeri, naturalmente, oppure delle lettere, dei simboli, dei "codici". La macchina deve saperle riconoscere, confrontarle, fare altre operazioni piú o meno complicate: riordinarle, per esempio, oppure fare operazioni aritmetiche se si tratta di numeri, e cosí via. Ma come costruire una macchina simile?

È necessaria una tecnologia. Oggi l'elettronica impera, ma prima di arrivarci la strada è stata molto lunga. E, ad ogni modo, che cos'è l'elettronica?

Sassi, ruote e ingranaggi

Per cominciare, gli scopi non erano poi tanto ambiziosi... o almeno, non lo sembravano, dal punto di vista moderno. Si trattava, prima di tutto, di registrare i numeri, di tenerne memoria in qualche modo, e poi di fare dei calcoli piuttosto semplici, somme, sottrazioni, forse anche qualche moltiplicazione.

Sopra: il *quipu* era il sistema per "scrivere" i numeri adottato dai contabili degli Inca, e consisteva in tutta una serie di nodi complicati. A destra: la famosa *pascalina*, la macchina progettata nel '600 da Pascal. Era in grado di compiere addizioni e sottrazioni di numeri anche molto lunghi e, per quei tempi, fu un vero successo commerciale: Pascal ne costruí una cinquantina!

Per la registrazione non c'erano problemi, a patto che si sapesse scrivere. L'abbiamo già visto, che in realtà gli uomini cominciarono a tenere una registrazione dei numeri ben prima che nascesse una scrittura, e anche alcuni popoli che non svilupparono mai una pro-

pria scrittura trovarono dei metodi ingegnosi per conservare informazioni come la quantità dei raccolti, o il numero dei soldati presenti in una data guarnigione.

Gli antichi Inca, anche se certamente avevano una grande civiltà, non avevano una scrittura: nonostante questo riuscirono benissimo a tenere la complicata contabilità di un immenso impero servendosi di un sistema di cordicelle e di nodi chiamato *quipu*. Forse non era un computer molto veloce (fare e disfare nodi richiede il suo tempo...) ma costava poco, era portatile, ed era abbastanza facile da usare.

Anche gli antichi Greci avevano le loro calcolatrici: gli archeologi ne hanno perfino trovato qualcuna! Alcuni abaci di marmo o di bronzo sono giunti fino a noi: probabilmente erano le calcolatrici di qualche ufficio statale, e possiamo ancora servircene, come fecero gli sconosciuti burocrati contemporanei di Pericle o giú di lí, infilando dei sassolini

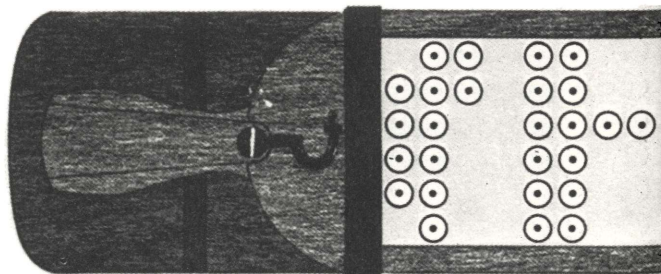
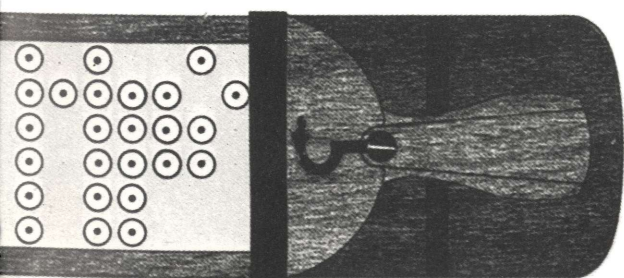
nelle scanalature marcate "unità", "decine", "centinaia" e cosí via, e spostando i sassolini per fare le operazioni. Sono state però trovate anche macchine molto piú complesse e delle quali non riusciamo bene a capire l'uso.

Sul fondo del mare, poco lontano da Creta, vicino a un'isola chiamata Antykithera, molti anni fa dei pescatori di spugne trovarono il relitto di una nave colata a picco nel 65 avanti Cristo, e dal relitto presero uno strano oggetto di bronzo, corroso dall'acqua e coperto di incrostazioni calcaree e di conchiglie. Il *meccanismo di Antykithera* è stato un rompicapo per decenni; alla fine, grazie anche ai raggi X che sono penetrati attraverso le varie incrostazioni, si è scoperto che si trattava di un oggetto con tre quadranti e un complicato sistema di ingranaggi: in pratica, una calcolatrice portatile (non proprio tascabile: provate a trascinarvi in giro una scatola di bronzo lunga 32 centimetri e larga 16!). Era una macchina che serviva a calcolare le fasi della Luna e le posizioni dei segni dello Zodiaco, basandosi sulla posizione del Sole: dunque non si trattava piú di un semplice aiuto per il calcolo manuale, come l'abaco, ma di un'autentica calcolatrice automatica!

Se anche ci furono altri meccanismi altrettanto raffinati, noi non ne sappiamo molto. Gli Arabi, durante l'epoca d'oro dell'Islam, costruirono degli automi, ma si trattava di giocattoli senz'altro scopo che quello di stupire e divertire (ne mandarono uno in regalo anche al buon Carlo Magno).

Per trovare una vera calcolatrice automatica, dobbiamo aspettare il '600 e quel giovanotto francese che abbiamo già incontrato, Blaise Pascal. Suo padre era un esattore delle dogane, perennemente preoccupato dalle infinite somme che doveva fare (e dal rischio di possibili errori!): Pascal, che aveva diciannove anni, ideò una macchina fatta di ingranaggi e manovelle che faceva automaticamente addizioni e sottrazioni. Era tutt'altro che semplice: poteva trattare numeri lunghi anche otto cifre, e costruire un meccanismo capace di sistemare i riporti nelle operazioni fu la parte piú difficile del progetto! La *pascalina* era un'autentica calcolatrice numerica, o, se vogliamo usare il vocabolo di moda oggi, una calcolatrice digitale ("digitale" è una parola che ci viene dal latino attraverso la parola inglese *digit*, che vuol dire "cifra").

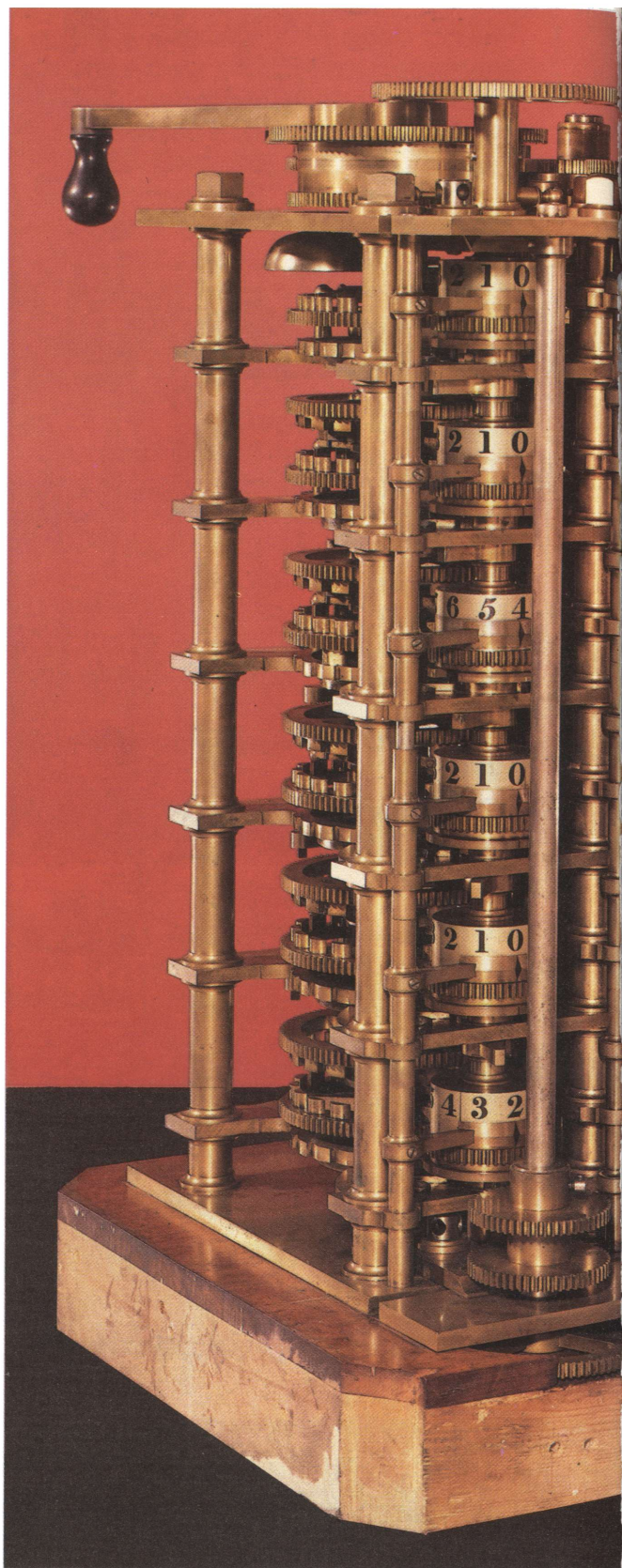
Un altro matematico ben noto, Leibniz, progettò, pochi anni dopo, una calcolatrice automatica ancor piú complessa, che faceva anche le moltiplicazioni. Per un paio di secoli altri inventori produssero marchingegni sempre piú complicati, sempre a base di ingranaggi, ruote, levette e via dicendo, finché, nel 1850, il Cavalier de Colmar ne costruí una che non solo funzionava, ma poteva anche essere prodotta in serie! La calcolatrice non era piú un giocattolo per ricchi matematici: era diventata una "macchina da ufficio" per contabili e mercanti.

Calcolatrice, non computer: si trattava di macchine capaci di fare un'operazione per volta, macchine che attendevano a ogni passo il comando dell'uomo, infatti non era possibile programmarle, costruendo una successione di comandi che poi la macchina avrebbe eseguito automaticamente, ripetutamente. Il calcolatore digitale, il computer vero e proprio, lo inventò verso il 1830 un litigioso e geniale inglese, Charles Babbage; uno di quegli uomini che hanno la sfortuna di nascere "troppo presto"... la sua invenzione avrebbe potuto renderlo ricco e famoso, se solo

Sopra: il telaio inventato nel '700 da Jacquard realizzava tessuti con disegni assai complessi.
A sinistra: per sollevare i fili della trama c'erano lunghi uncini che dovevano passare attraverso i fori di una scheda di cartone perforata secondo il disegno: niente foro... l'uncino non si muoveva!

avesse avuto a disposizione la tecnologia moderna!

Già, ma Babbage disponeva solo di ingranaggi, e neanche troppo precisi. La sua macchina (che si chiamava *macchina analitica*) aveva un "mulino" che faceva le operazioni, una "memoria" (proprio cosí!) dove si registravano dati e operandi, e un "lettore" che leggeva il programma da un pacchetto di schede perforate (che a quell'epoca venivano usate per controllare i telai che producevano i tessuti a disegni, i cosiddetti telai Jacquard). Se la macchina fosse stata molto grande, certo, girare la manovella sarebbe stato faticoso... ma sarebbe bastato usare il vapore!

La macchina analitica ingoiò i soldi di Babbage e un bel po' di quattrini che il governo inglese aveva deciso di investirvi, ma non funzionò mai: era impossibile produrre una quantità di ingranaggi con la precisione necessaria. Fu una delusione non solo per il suo inventore, ma anche per la regina Vittoria, che si era ingenuamente appassionata all'idea di quel meccanismo, e per una bella, giovane signora: Ada Augusta, contessa di Lovelace. Aveva avuto un'educazione molto diversa da quella delle sue coetanee: suo padre era un poeta celebre e scapestrato, lord Byron, che l'assecondò nella sua passione per gli studi scientifici (in un secolo in cui le nobili fanciulle studiavano musica, ricamo e buone maniere!). Ada Augusta si occupò della macchina analitica, scrisse brillanti articoli sulle sue caratteristiche e, soprattutto, difese la piú importante: la capacità che la macchina aveva di essere programmata per eseguire compiti diversi a seconda delle diverse esigenze di chi la usava, e di eseguire poi questi compiti piú e piú volte, senza che l'operatore umano fosse costretto a intervenire di persona per ripetere ogni volta i singoli ordini.

Oggi, ADA è il nome del piú moderno linguaggio per i computer elettronici...

A sinistra: dopo secoli di calcolatori d'ogni tipo, dal pallottoliere alla calcolatrice di Pascal, nell'800 Babbage ideò il primo autentico computer, oh, non elettronico, certo: tutto meccanico!
Sopra: la bella Ada Byron, contessa di Lovelace, scrisse: « La macchina analitica di Babbage tesse forme algebriche, cosí come il telaio Jacquard tesse fiori e foglie ». Poetico, no?

Dopo Babbage, e per quasi cent'anni, gli inventori trascurarono l'idea del calcolatore programmabile: in fin dei conti, l'esperienza aveva dimostrato anche troppo chiaramente che la tecnologia di quei tempi era troppo rudimentale per permettere di realizzarne uno! Invece, si continuarono a produrre calcolatrici, anzi, se ne produssero un'enorme quantità, soprattutto in quella nuova potenza industriale che stava affermandosi oltre oceano: gli Stati Uniti. Fu là che nacque una macchina nuova, piú complicata di una calcolatrice, molto piú semplice di un computer: il centro meccanografico. Una macchina che per la prima volta faceva uso dell'elettricità.

Un gioco di interruttori

Verso la fine dell'Ottocento, il presidente degli Stati Uniti ordinò un censimento: per legge, si sarebbe dovuto farne uno ogni dieci anni, ma la nazione oramai era cosí grande che si rischiava di non aver terminato le statistiche di un censimento prima che arrivasse la scadenza del prossimo: c'erano tante informazioni da inseguire! Sapere quanti erano i cittadini, quanti gli uomini e quante le donne, quanti gli immigrati e quanti gli americani di nascita, gli operai e i contadini... un lavoro incredibilmente complesso e lungo. Per fortuna un giovane assistente dell'Università di Columbia, un tale Herman Hollerith, ebbe un'idea geniale. Prima di tutto, osservò, era possibile elaborare, cioè trattare in modo automatico, qualsiasi informazione, non solo i numeri: bastava semplicemente rappresentare l'informazione in modo che la macchina la capisse! E perché non mettere al lavoro quella forza che stava conquistando tutto il mondo, grazie a Edison: perché non costruire una macchina elettrica?

Per rappresentare le informazioni, Hollerith ripropose una vecchia conoscenza: i fori in una scheda di cartone, quei fori che erano già serviti per guidare le spole nei telai Jacquard e per far comunicare l'operatore con la macchina di Babbage. Prendendo un cartoncino rettangolare e suddividendolo in tante colonne, nulla vieta di assegnare un particolare significato a ogni combinazione di fori che si fa in una colonna: un foro può rappresentare una cifra decimale (diversa a seconda della posizione, piú in alto o piú in basso), una combinazione di alcuni fori rappresenta una lettera dell'alfabeto e cosí via. Dopo di che, si può inventare una sigla di poche lettere per indicare una particolare occupazione, o la nazione di nascita o lo stato civile... insomma, Hollerith aveva inventato un "codice" che poteva benissimo

essere utilizzato per il censimento. Può essere curioso sapere che non solo il codice è sopravvissuto fino ai nostri giorni (si chiama appunto *codice Hollerith*) ma che addirittura la forma e le dimensioni della scheda di cartoncino sono rimaste quelle scelte cent'anni fa da Hollerith: il quale aveva molto semplicemente copiato il biglietto da un dollaro!

A questo punto, occorreva una macchina che "leggesse" le schede perforate. Per questo, una piastra con tanti aghi

A sinistra: come si "costruiscono" le operazioni *e* e *o* usando degli interruttori. Cominciamo da *e* (AND): mettendo due interruttori in serie in un circuito che comprende una pila e una lampadina (in alto), la lampadina si accende solo se entrambi gli interruttori sono "abbassati" (chiusi): cosí abbiamo 1 che corrono per tutta la strada! Ma se uno solo dei due interruttori è aperto, la corrente non circola, la lampadina resta spenta e lo 0 non passa. E l'operazione *o* (OR) negli interruttori in parallelo? Anche se 0 non può passare da una parte, c'è sempre un'altra strada pronta per 1! Sotto: centinaia di interruttori facevano funzionare quella specie di piano meccanico: la prima macchina di Hollerith. In basso c'è il disegno che Hollerith uní alla domanda di brevetto.

Sopra: un vecchio numero di un giornale celebre anche oggi, lo *Scientific American*, illustra alcune applicazioni delle macchine di Hollerith.
A fronte: perforazione di schede alla Banca di Stato di Mosca. Dopo la Rivoluzione, i centri meccanografici lavorarono molto: i "piani quinquennali" avevano bisogno di enormi quantità di statistiche!

metallici in corrispondenza di tutti i punti in cui un foro avrebbe potuto trovarsi veniva abbassata con forza sulla scheda: al di sotto della scheda c'erano altrettante coppette (quasi dei ditali!) piene di mercurio e collegate a dei fili di rame. C'era un foro? L'ago lo attraversava e si infilava nel mercurio, un circuito elettrico si chiudeva e circolava corrente. Niente foro, niente corrente!

In definitiva, il cuore della macchina era un insieme di fragili interruttori elettrici. La corrente che passava nei vari fili, poi, andava a far funzionare dei contatori in cui il passaggio di corrente faceva chiudere una piccola elettrocalamita, come conseguenza il contatore aggiungeva 1 al valore registrato e naturalmente, con un sufficiente numero di contatori e un circuito elettrico capace di tradurre il codice letto sulle schede, si otteneva una macchina in grado di fare tutte le statistiche del mondo, molto piú in fretta e accuratamente di quanto avrebbero fatto dozzine di operatori.

L'idea degli interruttori comandati da un codice ebbe molta fortuna: quando, pochi anni piú tardi, si trattò di costruire i primi centralini telefonici automatici, si scoprí che il modo migliore di progettarli era proprio quello di usare degli interruttori comandati (il termine tecnico è *relé*). Già, ma come progettarli? Che razza di metodo si doveva usare?

C'era quella strana matematica (anzi, algebra) inventata tanto tempo prima dai due studiosi inglesi, Boole e De Morgan. Un'algebra dove si parlava di vero e di falso: come un interruttore che può essere chiuso oppure aperto. E anche le operazioni ideate da Boole per la sua algebra si adattavano perfettamente agli interruttori.

Pensiamo di voler proprio fare una macchina per il censimento, e supponiamo che sulla scheda ci sia una colonna che risponde alla domanda "abita a Milano?" e un'altra colonna per il quesito "possiede una motocicletta?". Costruendo la macchina, dovremo mettere un interruttore che legge il primo codice e un altro che legge il secondo.

Se ora vogliamo che il nostro centro meccanografico conti tutti gli abitanti di Milano che posseggono una moto, dovremo fare un'intersezione fra i due sistemi, un'operazione *e*, che è vera solo se la persona indicata sulla scheda abita a Milano *e* ha la moto. Ma per realizzare un contatore automatico capace di farlo, occorrerà progettare un circuito elettrico che lascia passare corrente solo quando ambedue gli interruttori sono chiusi (quando, cioè, la risposta è "vero" ad ambedue le domande). Il circuito

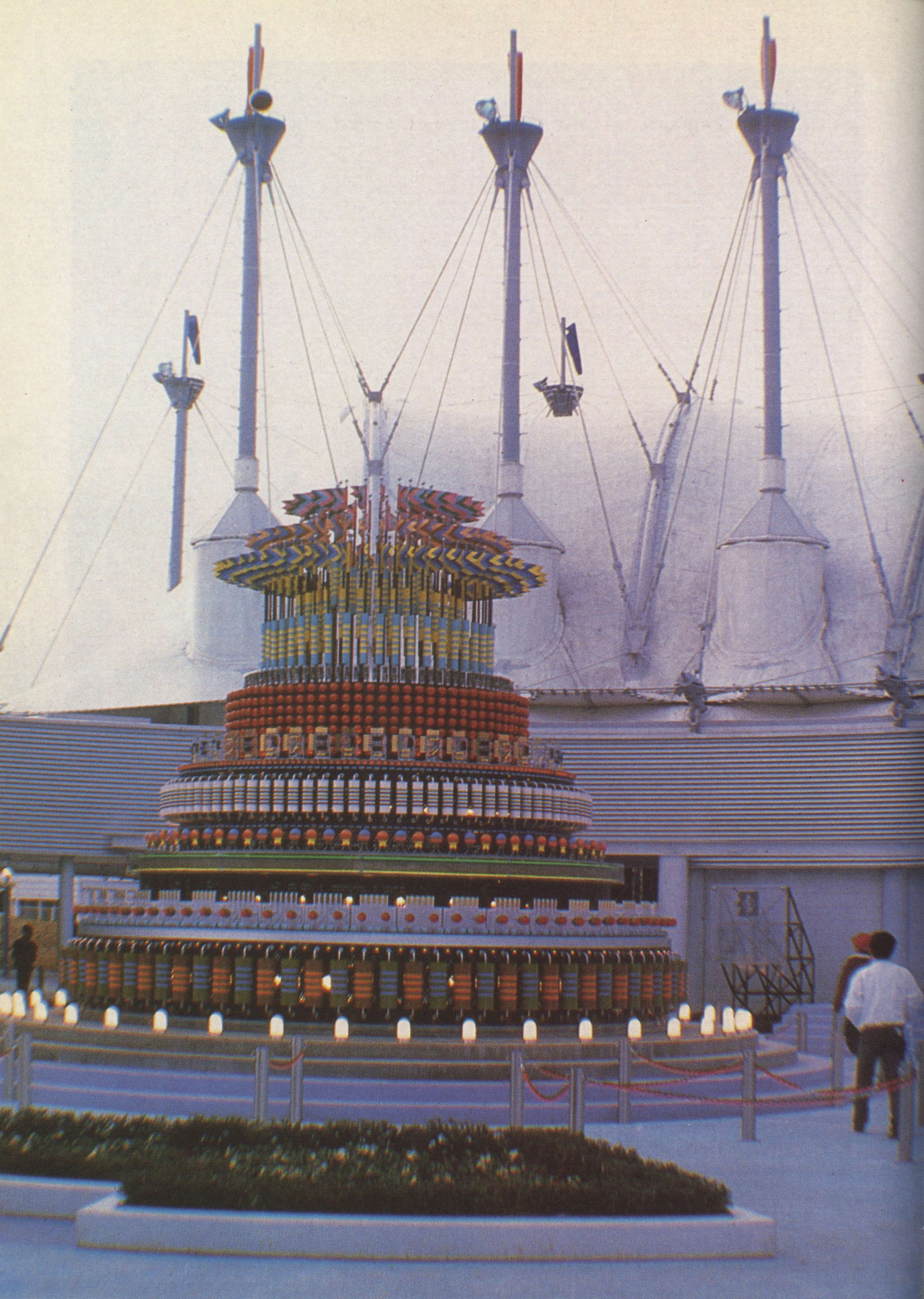
si costruisce mettendo i due interruttori in serie uno dopo l'altro. Se invece vogliamo contare tutti coloro che abitano a Milano *oppure* hanno la moto, faremo una unione fra i due sistemi: un'operazione *o*. Il circuito dovrà lasciar passare corrente se almeno uno dei due interruttori è chiuso: basta mettere i due interruttori in parallelo.

Unendo tanti interruttori, potremmo rappresentare delle combinazioni di informazioni complicate quanto si voglia, costruendo quello che si chiama "circuito di commutazione". Certo, oggi non si usano piú degli interruttori che si aprono e si chiudono: si usano degli interruttori elettronici, che lasciano passare una corrente elettrica oppure la bloccano, senza che nessuna parte dell'interruttore si muova.

Ma che cos'è l'elettronica?

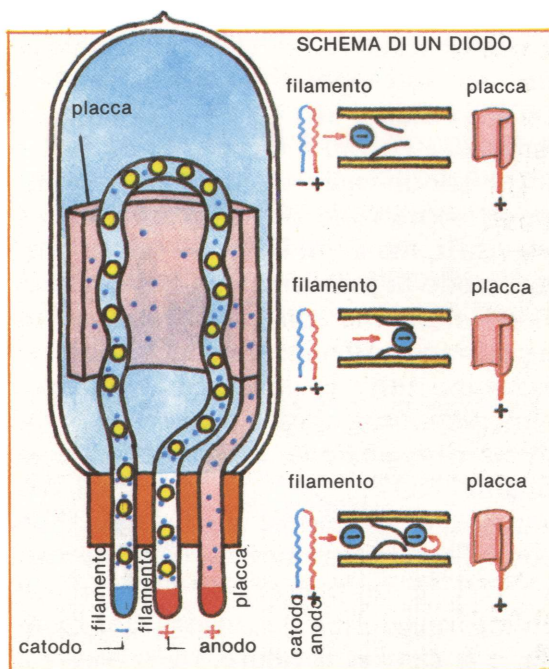
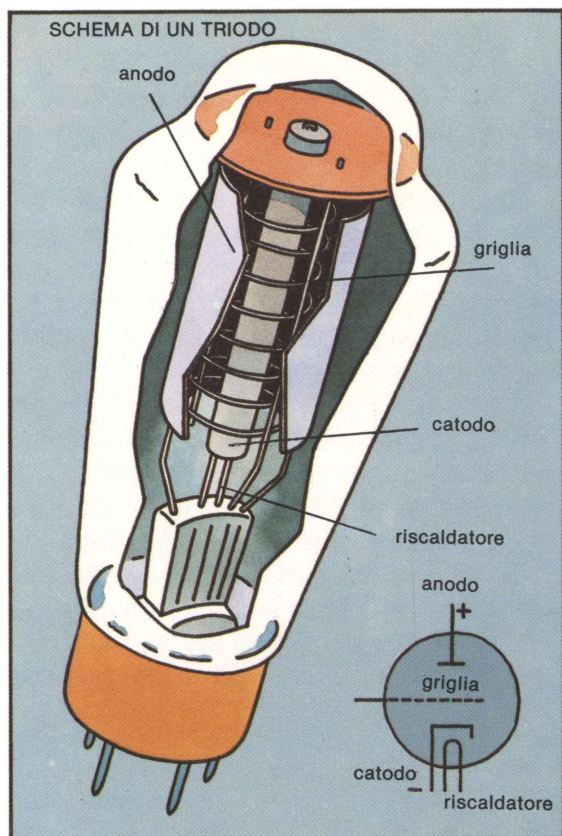
L'elettronica è oramai dovunque intorno a noi; vogliamo vedere come è nata e, soprattutto, come ce ne serviamo per costruire un computer?

Il primo componente elettronico (d'ora in poi parleremo di componenti per indicare gli oggetti con cui si costruisce un circuito elettronico: non si può defi-

nire meccanismo qualcosa che non si muove!), dunque, il primo componente elettronico fu il "diodo a vuoto" o "valvola termoionica". Si trattava di un'ampolla di vetro, simile a una lampadina, in cui era stato fatto il vuoto e in cui venivano inseriti due elementi metallici, chiamati "anodo" e "catodo", separati l'uno dall'altro. Se, all'esterno, colleghiamo anodo e catodo a una batteria elettrica, naturalmente non passerà corrente: il circuito è interrotto perché c'è il vuoto fra i due pezzi!

A questo punto, riscaldiamo il catodo (per questo motivo si fa passare corrente in un filo di metallo, un filamento il cui unico scopo è alzare la temperatura del catodo): per un fenomeno fisico, che si chiama "effetto termoionico", un certo numero di elettroni (cioè di particelle elementari che portano una carica elettrica negativa) sfuggiranno agli atomi di metallo del catodo. Se abbiamo inserito la nostra batteria in modo che il + sia collegato all'anodo e il – al catodo, i nostri elettroni saranno attratti dall'anodo (si sa che le cariche di segno opposto si attraggono) e, fluendo nel vuoto, creeranno una vera e propria corrente elettrica, chiudendo quel circuito che prima era interrotto. Se invece avessimo collegato al catodo il + della batteria, gli elettroni sarebbero stati respinti dall'anodo (le cariche elettriche dello stesso tipo si respingono) e non ci sarebbe stata corrente.

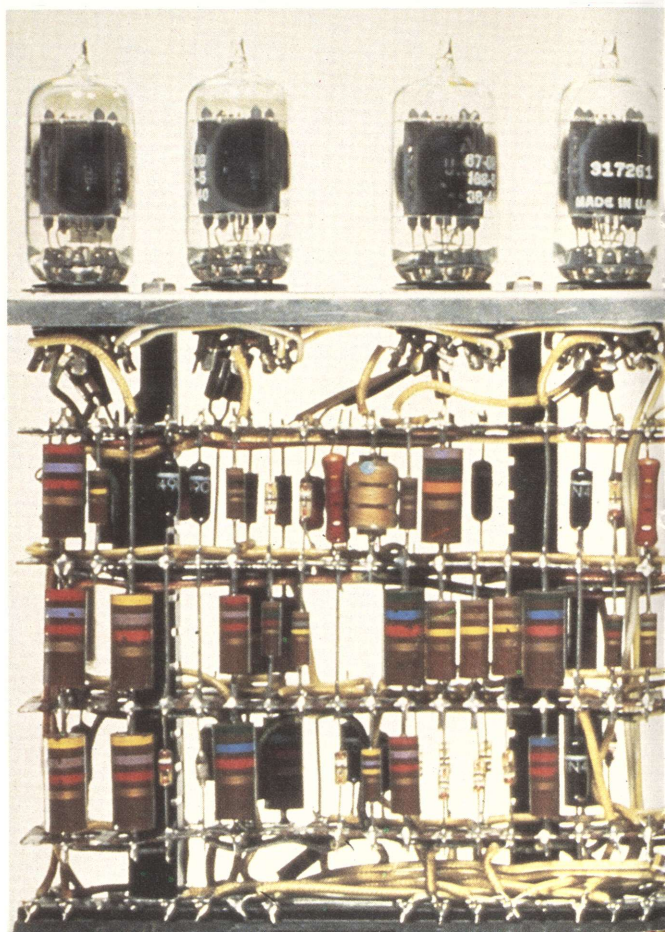
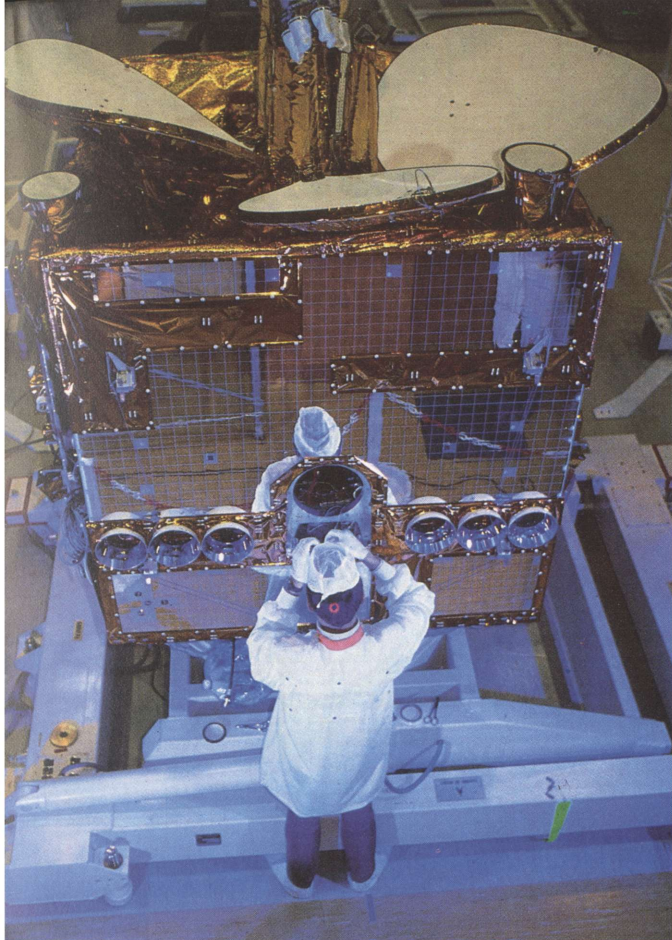
Naturalmente, se ogni volta dovessimo collegare e staccare i morsetti di una batteria elettrica, avremmo un sistema tutt'altro che comodo per controllare il passaggio di corrente. Ma se abbiamo un generatore elettrico che a seconda dei casi fornisce all'anodo una tensione positiva oppure una uguale a zero (o anche negativa) e al catodo una tensione sempre uguale a zero, ecco che avremo un autentico interruttore in cui non ci sono parti in movimento. Ora, se noi mandiamo col nostro generatore una tensione positiva per rappresentare il "vero" e una nulla per rappresentare il "falso", ci ritroviamo di nuovo con un oggetto che ci permette di costruire un "circuito di commutazione"!

Il diodo termoionico fu inventato nel 1904 da Ambrose Fleming: pochi anni dopo comparve una valvola termoionica un po' piú complicata: il triodo. In effetti, il triodo fu inventato per scopi che col computer non avevano nulla a che fare, cioè per realizzare dei ricevitori radio capaci di ricostruire la voce e i suoni, e non semplicemente i punti e le linee di un codice Morse: non per nulla Lee de Forest, che inventò la prima rudimentale valvola di questo tipo, la battezzò *audion*. Oltre ad avere un anodo e un catodo, il triodo ha anche una "griglia" (che può essere una sottile rete me-

A fronte: questa gigantesca torta è... pochissimo commestibile: solo un'enorme costruzione di valvole, transistor e altro materiale elettronico, presentata all'Esposizione Universale di Tsukuba. Sotto: lo schema di un vecchio diodo a vuoto: a seconda della tensione tra anodo e catodo, passeranno molti elettroni, oppure pochi, o magari nessuno del tutto.

Le valvole termoioniche, lo si è detto, esistevano già all'inizio del secolo, quando esistevano anche macchine calcolatrici e complessi centri meccanografici. Eppure, nessuno pensò di usare le valvole per costruire delle macchine per il calcolo: almeno, non fino verso il 1940!

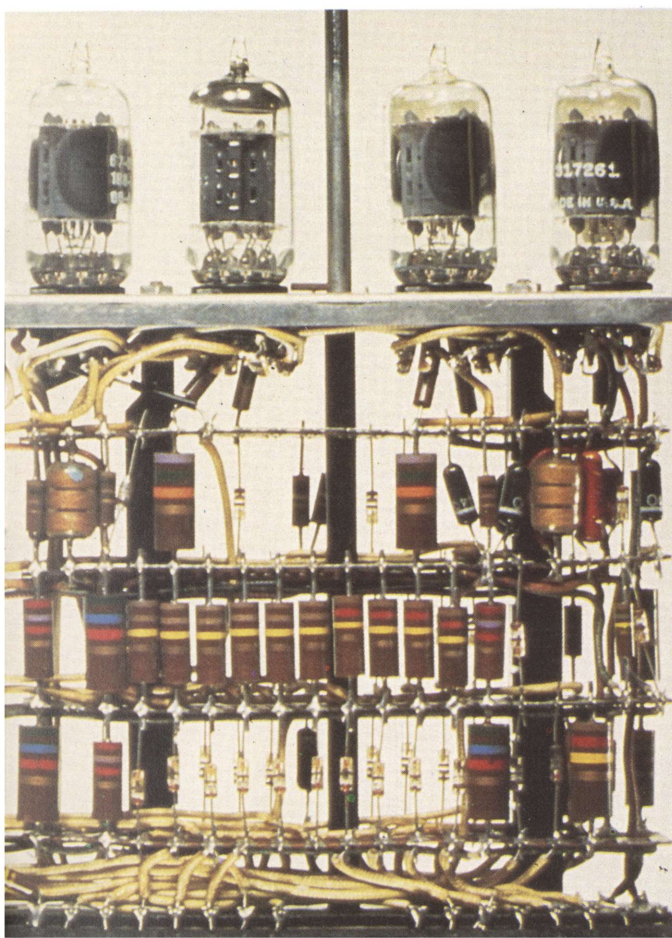
Le ragioni erano tante. Per cominciare, sembrava che ingranaggi e relé fossero abbastanza veloci per le operazioni che si volevano compiere: in fin dei conti, la macchina di Hollerith era già molto piú rapida di un impiegato del censimento! E i primi centralini telefonici automatici vi mettevano in comunicazione con l'interlocutore infinitamente piú in fretta di quanto avrebbe fatto una centralinista. In cambio, ingranaggi e relé erano robusti, continuavano a funzionare per migliaia di ore, per anni addirittura: in una parola, erano affidabili. Non si poteva certo dire lo stesso delle valvole termoioniche... soprattutto di quelle fabbricate nei primi tempi. Una vecchia radio si guastava facilmente: di-

tallica o un filo metallico avvolto a spirale) inserita fra i primi due e che può a sua volta essere collegata a un generatore di tensione. Se alla griglia diamo una tensione negativa, gli elettroni sono piú che mai intrappolati vicino al catodo; ma se le diamo una tensione positiva, il flusso di elettroni diventerà molto forte.

Un triodo veniva utilizzato in molti modi, soprattutto per costruire radio e televisori, ma a noi interessa un particolare modo di funzionare da interruttore: cioè il fatto che con questi componenti si potevano costruire dei circuiti che realizzavano tutte le operazioni di Boole: l'intersezione, l'unione, e anche la negazione (l'operazione che in inglese si chiama NOT). Quand'è che qualcosa non è vero? Quando è falso... E quando non è falso? Quando è vero! Insomma, il NOT è un'operazione che prende un'informazione a due valori, cioè binaria, e le cambia il valore.

ciamo, piú di una volta all'anno. Che cosa sarebbe successo di un centro meccanografico fatto con centinaia, migliaia di valvole? Non sarebbe riuscito a funzionare nemmeno per poche ore di fila... In realtà, i primi calcolatori elettronici furono proprio costruiti con una quantità di valvole e - sebbene funzionassero piú a lungo di quanto avessero previsto i pessimisti - si guastavano pur sempre con molta facilità.

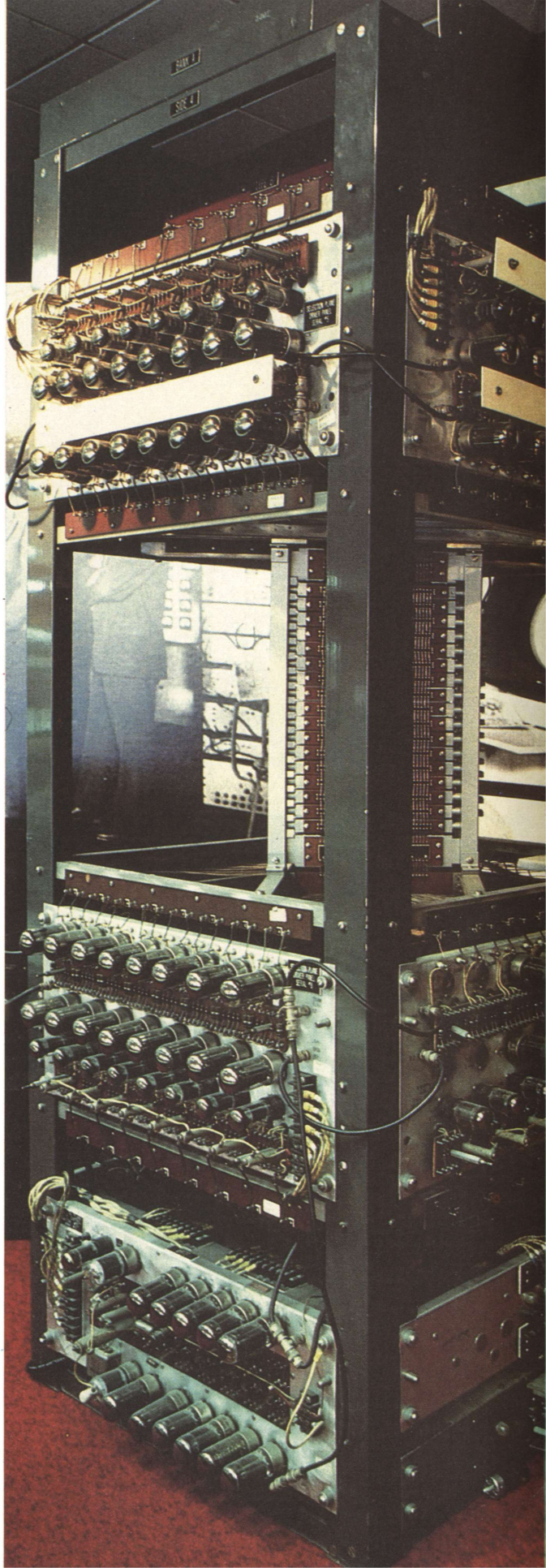
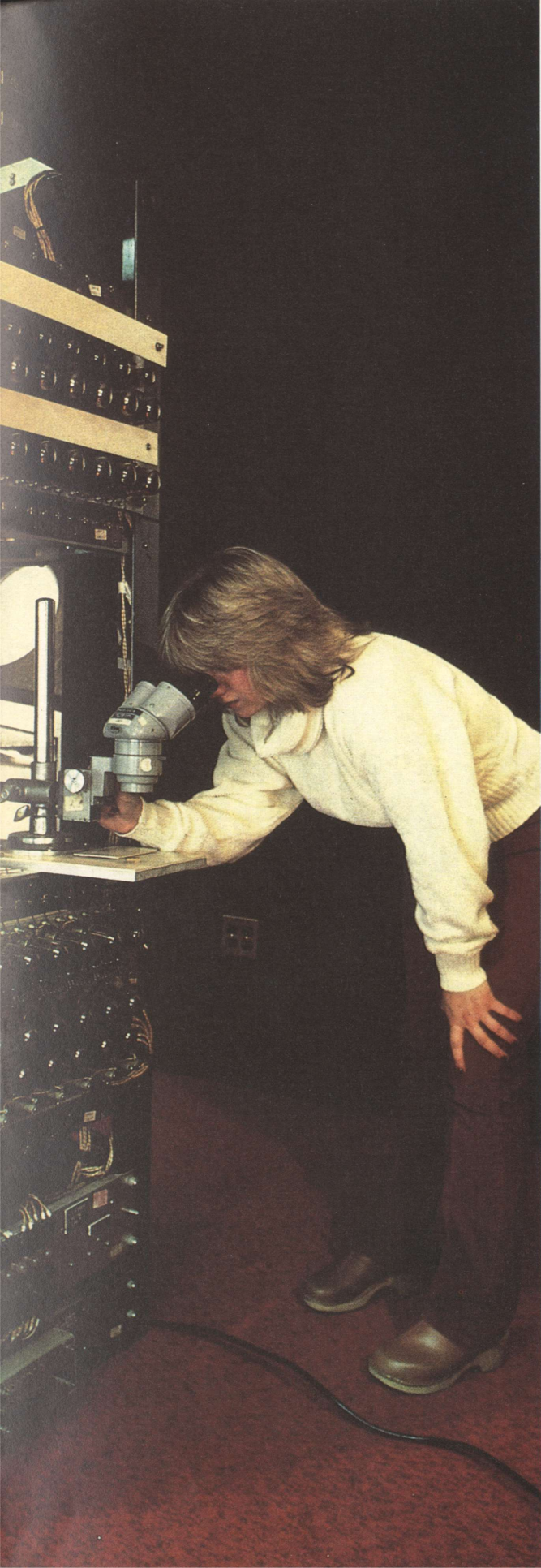
Poi, nel 1947, un gruppo di scienziati americani fece una scoperta rivoluzionaria. Certo, a prima vista la loro invenzione non era che un modesto pezzo di cristallo a cui erano collegati tre fili metallici: era il primo transistor.

Un transistor funziona come un triodo, ma è fatto con un frammento di un particolare materiale: il silicio. Di silicio è pieno il mondo: molte rocce sono fatte di composti di silicio. Puro, però, non lo si trova quasi mai in natura: bisogna produrlo con procedimenti lunghi e costosi. Il silicio puro ha un curioso comportamento quando lo si inserisce in un circuito elettrico: non è un buon conduttore, come i metalli, perché non facilita il passaggio della corrente elettrica; ma non è neppure un isolante come la gomma o la ceramica. Per questo si dice che è un "semiconduttore".

Nel 1947 alcuni scienziati si accorsero che, sottoponendo a opportuni trattamenti dei frammenti di semiconduttore, si otteneva un comportamento simile a quello di un diodo o di un triodo. Si trattava di "drogare" il cristallo di silicio, infiltrando fra gli atomi di silicio

A fronte: lo schema di un triodo; assomiglia molto al diodo, ma c'è in piú la "griglia". A seconda della tensione che si dà alla griglia, si intrappolano gli elettroni o li si aiutano a passare: insomma, si amplificano i segnali di comando.
A sinistra: una parte dell'*IBM 701*, un computer della prima generazione costruito con triodi.
In alto: costruzione di un pannello della navetta *Arianne*. Quando cominciò la corsa allo spazio, i triodi si rivelarono troppo ingombranti e fragili e si spinse a fondo lo sviluppo dei transistor.

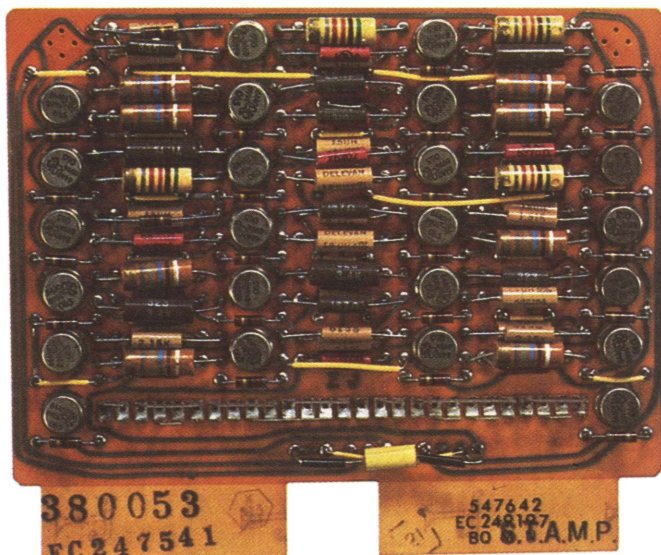
degli atomi di altri materiali. Dato che il silicio è semiconduttore, i materiali droganti devono essere "positivi" rispetto al silicio, cioè "piú conduttori", oppure "piú negativi": il silicio trattato in questo modo diventa di tipo P (positivo) oppure di tipo N (negativo). Il passaggio di una corrente nel silicio drogato, poi, diventa molto piú facile.

A questo punto, se in un frammento di silicio abbiamo una parte di tipo P accanto a una di tipo N, il cristallo nel suo complesso diventa un diodo. Se le parti sono tre - ad esempio una N, una P e un'altra N - abbiamo un oggetto che si comporta come un triodo ma è molto piú piccolo, e consuma infinitamente meno energia elettrica. È un transistor: cioè un oggetto che, per quanto ci interessa, può ancora una volta comportarsi come un minuscolo interruttore comandato dalla tensione elettrica che gli mandiamo. Infatti, anche un transistor può essere chiuso, nel qual caso si comporta come un corto circuito, cioè lascia passare la corrente senza fare nessuna resistenza, oppure aperto, e allora non lascia passare corrente. Bene, naturalmente quello era un transistor vecchio stile, come lo si faceva nel 1947. Oggi un transistor viene costruito senza "attaccare" pezzetti di silicio l'uno all'altro, ma piuttosto con procedimenti che coinvolgono complicate apparecchiature fotografiche (che rimpiccioliscono un'immagine milioni di volte) e con impianti estremamente delicati. In cambio, un transistor è un oggetto sempre piú piccolo, meno costoso, e meno assetato di energia elettrica!

Quella riprodotta qui a fianco può essere considerata, praticamente, la fotografia di un antenato: è infatti una vecchia memoria a valvole termoioniche... una vecchia di trent'anni! La ragazza la sta attentamente confrontando, attraverso il microscopio, con una memoria attuale che ha la stessa "capacità" (cioè è capace di contenere lo stesso numero di informazioni), ma è tanto piccola da dover essere guardata appunto al microscopio!

Sempre piú piccolo

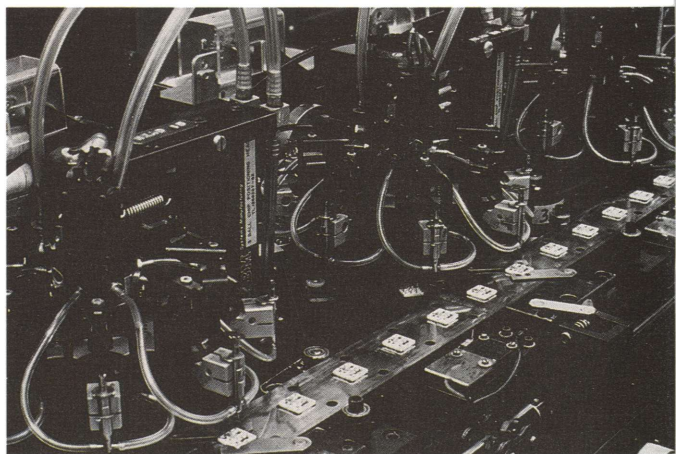
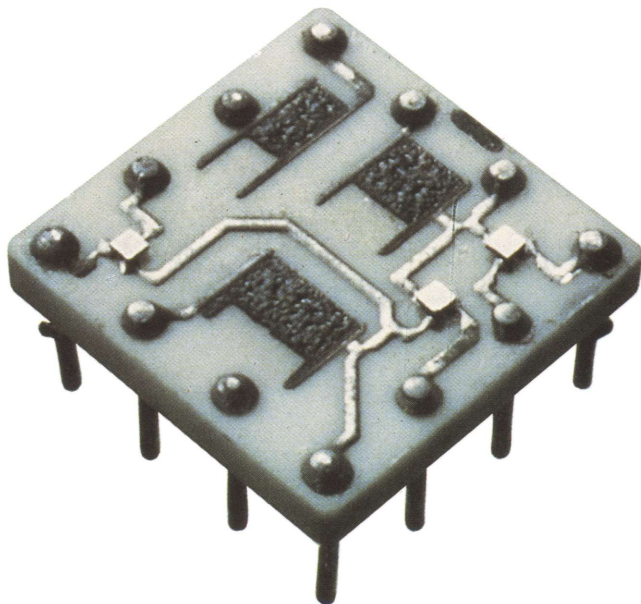
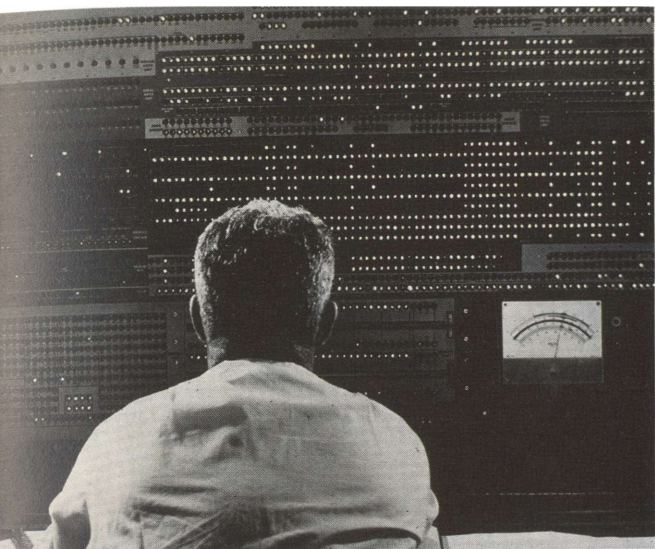
Quando il transistor divenne un componente commerciale - vale a dire qualcosa che poteva essere utilizzato anche fuori da un laboratorio di ricerca - parve già un incredibile balzo in avanti. Bruscamente, verso il 1955, divenne possibile costruire radio portatili che erano veramente portatili - grandi come un libro tascabile, non come un dizionario in due volumi - e che potevano essere alimentate a pile senza che si dovesse cambiarle ogni tre ore. Fra l'altro, si scoprí presto che i transistor erano molto piú affidabili delle vecchie valvole, vale a dire che vivevano molto piú a lungo prima di guastarsi: e questo, naturalmente, permetteva di costruire circuiti piú complicati senza doversi aspettare di aggiustarli sei volte al giorno. Perché, come disse il vecchio Henry Ford, « tutto quello che non c'è non può guastarsi », e fino a quei tempi, con diodi e triodi che morivano come le mosche, la regola era stata quella di costruire circuiti semplici per garantire che funzionassero abbastanza a lungo. Di colpo, circuiti complicati, piccoli, leggeri e poco "affamati" di energia divennero realtà, e furono collaudati sui primi satelliti artificiali americani, gli *Explorer*, grandi meno di un pallone da calcio.

La gioia degli esperti, però, durò pochissimo: per definizione, uno scienziato è una persona perennemente insoddisfatta, vuole sempre qualcosa di piú complicato di quello che ha. Non appena ci fu il transistor, gli ingegneri elettronici cominciarono a sognare un oggetto ancora piú piccolo, piú potente, piú affidabile, piú tutto, in una parola!

Dapprima gli esperti provarono a miniaturizzare i singoli componenti: transistor piccoli come la capocchia di un chiodino, resistenze minuscole, condensatori fatti con una fogliolina d'oro leggera come un soffio. Un'operaia molto specializzata (doveva aver fatto una lun-

A sinistra: le capocchie rotonde sono tanti transistor, gli oggettini oblunghi multicolori sono resistenze e condensatori... e tutti insieme sono dei componenti elettronici montati su una scheda. Migliaia di schede come questa servirono a costruire i calcolatori degli anni '60, ed erano già un incredibile balzo in avanti rispetto ai vecchi circuiti a base di triodi!
A destra: il quadro di comando o, con termine tecnico, la *console*, del piú grande supercomputer degli anni '60: lo *Stretch*. Centinaia di tasti e di lampadine servivano per dare comandi alla macchina e avere notizie sul suo funzionamento.
Sotto: per costruire computer sempre piú piccoli, l'IBM inventò dei circuiti miniaturizzati, come questo: minuscoli componenti erano saldati, o addirittura costruiti, su piastrine di ceramica grandi come un francobollo.
In basso: la costruzione di circuiti miniaturizzati sollecitò l'automazione nelle industrie per ottenere velocità e affidabilità nella produzione.

ga esperienza ricamando!) poteva montare quei componenti microscopici su una piastrina di ceramica, ed ecco un bel circuito miniaturizzato. Naturalmente, costava caro (la famosa ricamatrice aveva bisogno di un sacco di tempo per fare le sue micro-saldature) ed era anche piuttosto fragile. Possibile che non ci fossero soluzioni migliori?

La soluzione migliore si trovava in quegli stessi cristalli con cui erano costruiti i transistor: i cristalli di silicio. Perché col silicio – e con i sottilissimi strati di metallo che si possono sovrapporre al silicio, e con l'ossido (cioè il composto di silicio e ossigeno) che si può produrre facendo passare ossigeno sul silicio ad altissime temperature – si possono costruire anche le resistenze e i condensatori. Transistor, diodi, resistenze, condensatori: c'è tutto quello che occorre per costruire i circuiti elettronici che si usano in un computer.

Verso il 1965 comparvero i primi "circuiti integrati": in un cristallo di silicio di mezzo centimetro di lato (e sottile meno di un millimetro) veniva costruito un intero circuito che realizzava l'operazione AND, poniamo, oppure l'operazione OR. Non era un granché, ma visto che per quel circuito fino a poco tempo

prima occorreva una piastrina di plastica di tre o quattro centimetri di lato, con montati diodi, transistor, resistenze e cosí via, c'era già un bel miglioramento! Si riusciva a mettere centinaia di circuiti nello spazio dove prima ce n'era stato solo uno...

Ben presto, comparvero circuiti integrati un po' piú complessi: vale a dire che contenevano un maggior numero di transistor ed erano capaci di compiere operazioni piú complicate. Circuiti in grado di fare l'addizione fra due bit, per cominciare: e poi altri per fare addizioni di numeri piú lunghi, o anche operazioni piú complesse come la moltiplicazione. E poiché in un computer non basta fare operazioni o trasmettere dati, ma occorre anche scrivere dei risultati o degli operandi o qualunque altra informazione, vennero costruiti anche circuiti integrati che erano dei registri, cioè delle piccole memorie in cui si poteva registrare un numero, o almeno una parte di un numero o un carattere dell'alfabeto e via dicendo. Circuiti che ospitavano anche qualche decina di transistor su un solo cristallo di silicio...

Nel 1973 comparve sulla scena un circuito integrato rivoluzionario. In un cristallo quadrato, di mezzo centimetro per mezzo centimetro, c'era un migliaio di transistor: e quel cristallo si comportava come il "cuore" di un autentico computer!

Era il primo "microprocessore". Certo, era molto rudimentale, visto con gli occhi di oggi: sapeva fare solo poche e semplici operazioni, lavorava su numeri molto piccoli (cioè di pochissime cifre) e per di piú gli occorreva molto tempo per fare un'operazione. Diciamo che aveva bisogno di alcune decine di milionesimi di secondo per sommare due cifre decimali! Ciononostante, per quei tempi era una novità incredibile. Contemporaneamente comparvero degli altri circuiti integrati, le memorie, capaci di registrare qualche migliaio di bit. Di colpo, si scoprí che un computer poteva essere grande quanto una scatola da scarpe e consumare meno di una lampadina (e, naturalmente, costare cifre molto piú modeste di quei milioni di dollari che erano le quotazioni dei grandi computer!).

Secondo gli esperti che fanno statistiche economiche e cose simili, i circuiti integrati sono prodotti di mercato che si comportano in una maniera molto speciale: ogni due anni circa, la potenza dei nuovi circuiti (approssimativamente pari al numero di transistor ospitati sul circuito) raddoppia rispetto a quella del modello precedente, mentre il costo "per transistor" si riduce circa a metà! Oggi, si parla di un milione di transistor su un unico circuito integrato...

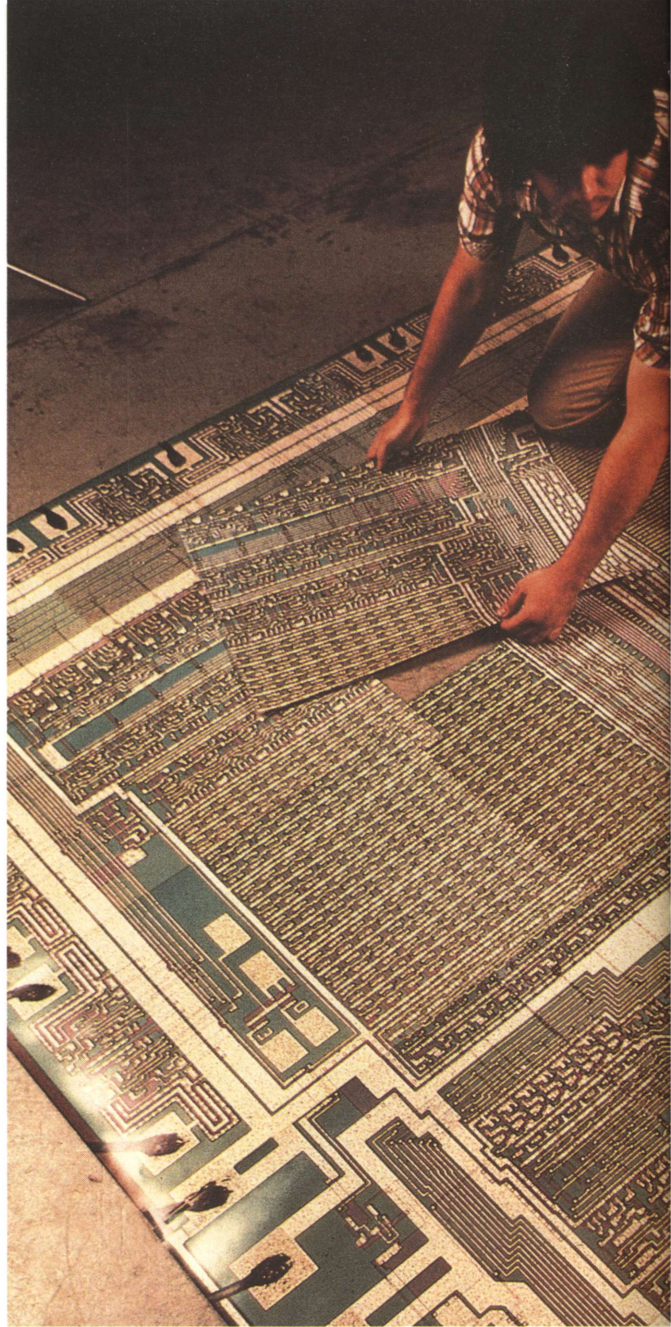
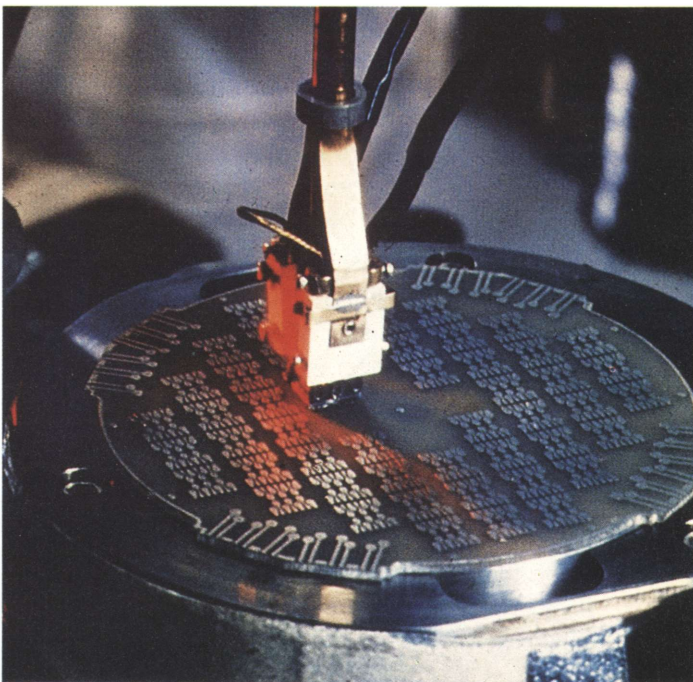
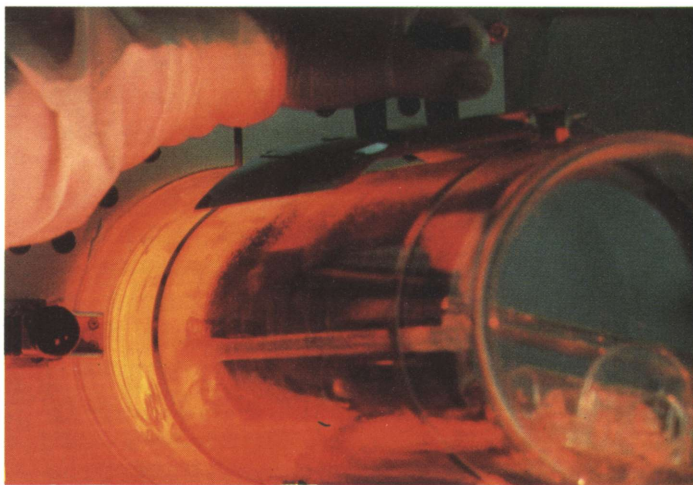
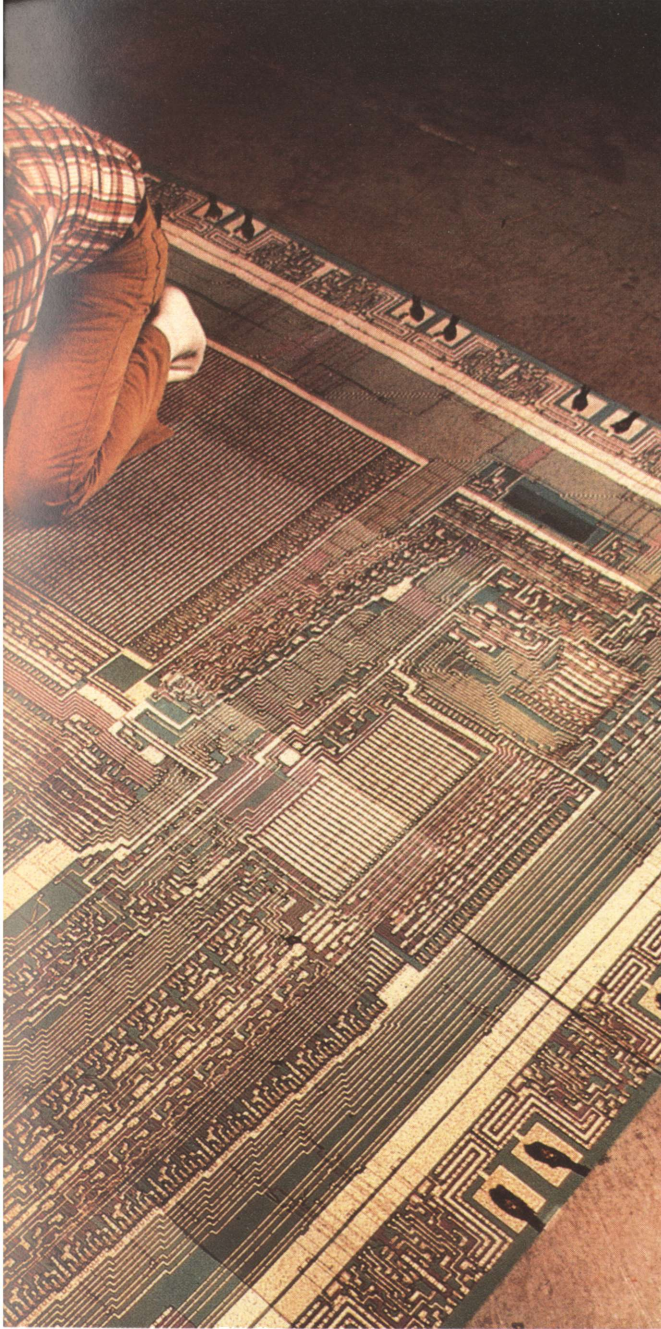
E, ci si può chiedere, come si fa a costruire questi circuiti, questi "chip"? (*chip* vuol dire qualcosa come "frammento", ed è cosí che si usa definire, amichevolmente, i circuiti integrati).

Quando si guarda al microscopio un circuito integrato, si vede sulla sua superficie un intricato disegno geometrico, e le fotografie ad altissimo ingrandimento ci presentano ancor piú chiaramente questo disegno, fatto di linee che costruiscono un autentico labirinto, tutto ad angoli retti. Quel labirinto *è* il cir-

cuito... o almeno, ne è la parte visibile. Transistor, diodi, resistenze, tutto è stato costruito secondo schemi altrettanto regolari, totalmente incomprensibili per chiunque non sia un esperto.

Per cominciare, naturalmente, occorre del silicio; del silicio straordinariamente puro, ottenuto con procedimenti molto delicati. Si costruisce una "barra", un lungo cristallo di silicio del diametro di dodici o venti centimetri circa, e poi lo si taglia in sottilissime "fette" (la parola giusta sarebbe "wafer") che vengono lucidate a specchio: un wafer non deve essere contaminato da polvere, e deve avere una superficie perfettamente liscia, se vogliamo che poi i nostri circuiti integrati riescano bene. Su un wafer c'è posto per molte centinaia di circuiti integrati...

Tutto il lavoro viene fatto in ambienti chiamati "camere bianche", non certo per il colore delle pareti, ma perché è essenziale l'assoluta pulizia dell'ambiente. Sul wafer viene inciso un primo disegno geometrico, e sotto a quell'incisione - a temperatura molto alta, in un'atmosfera di gas particolari, che "drogano" il silicio - nel cristallo nascono le prime parti del circuito; poi, le stesse operazioni vengono ripetute piú e piú volte, finché, una volta che tutti i componenti sono formati, sulla superficie del wafer viene creata una ragnatela di collegamenti elettrici. I collegamenti sono fatti con uno strato sottilissimo di metallo, solitamente alluminio, "spruzzato" sul silicio quasi atomo per atomo. Naturalmente, tutte le operazioni sono fatte in modo automatico da macchine complicatissime: i tecnici in camice bianco, col berretto bianco sui capelli e le soprascarpe di tela ai piedi, si occupano di controllare che le macchine funzionino a dovere (ovviamente, anche queste macchine contengono un computer!).

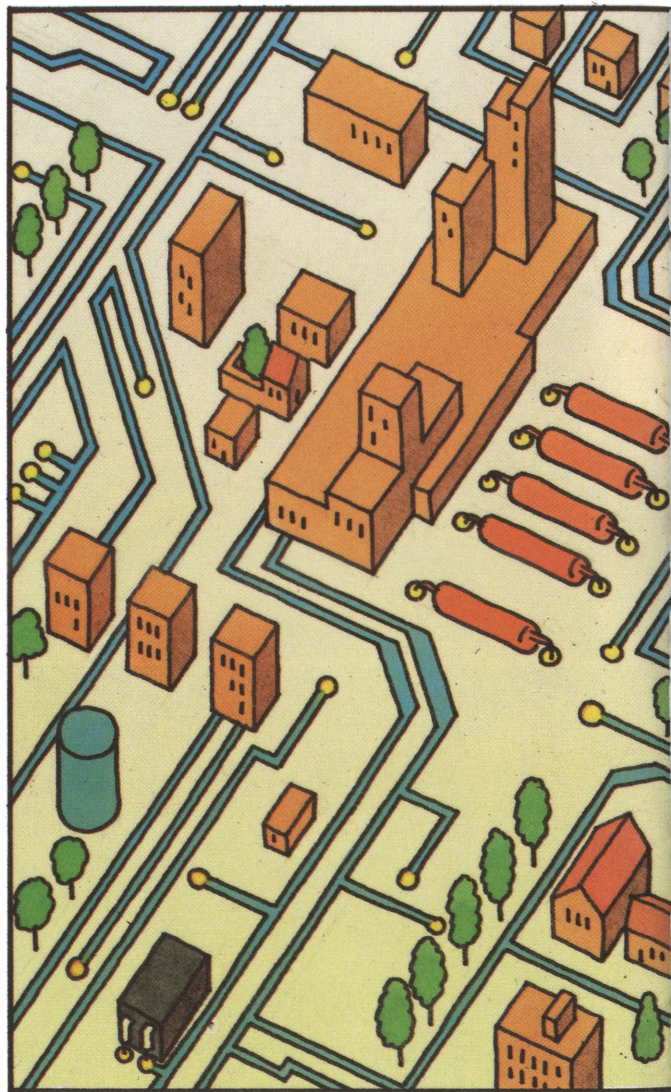
Una volta costruiti i collegamenti, i circuiti integrati sono finiti: si tratta di tagliare le fette di silicio in modo da se-

Qui sopra, il disegno di un... microprocessore! Fotografato in dimensioni piccolissime (il lato diventerà di 0,5 cm), verrà poi riprodotto, in decine di esemplari, su una sottile piastra di silicio (2). Il disegno del microprocessore si può anche effettuare "a secco" (qui a destra), mediante raggio laser e con l'aiuto del computer stesso! Impianti speciali producono barre di silicio purissimo (1). Tutti i passi successivi devono avvenire in ambienti privi di polvere (2), se si vuole che il prodotto funzioni poi correttamente. Sui wafer ricavati dalla barra di silicio si incide quindi il disegno della maschera per mezzo di una "cottura" in forni speciali. Usciti dal forno, i microprocessori sono pronti per essere chiusi nelle loro "scatolette" (3).

pararli l'uno dall'altro, e poi di montarli in una capsula di plastica o di ceramica: quelle scatoline nere o bianche con tanti "piedini" lungo i lati che vediamo se apriamo un personal computer – o anche il televisore di casa – per curiosarci dentro. Ah, già, occorre anche collegare questi piedini con i punti giusti del circuito integrato vero e proprio: per farlo, si usano dei sottilissimi fili d'oro. E il chip è pronto per essere venduto.

Sembra facile? Non lo è per niente! Fra l'altro, non si è ancora detto come si può creare quel disegno intricato, visibile solo al microscopio. Naturalmente, i vari disegni che servono per costruire il circuito vengono fatti, all'inizio, in proporzioni molto piú grandi: disegni grandi come tappeti, o come intere stanze! Pochi anni fa, c'erano alcuni specialisti che li costruivano interamente a mano; oggi, anche per questo lavoro si usa il solito computer (vedremo piú avanti come fa a disegnare, un calcolatore elettronico).

Questo disegno viene fotografato da una macchina che lo riduce di proporzione migliaia di volte, e poi un'altra macchina riproduce il disegno rifotografandone tanti esemplari, uno accanto all'altro, proprio come appariranno i circuiti integrati sul wafer. L'immagine che si ottiene è quella che gli specialisti chiamano una "maschera" per uno dei passi di costruzione del circuito.

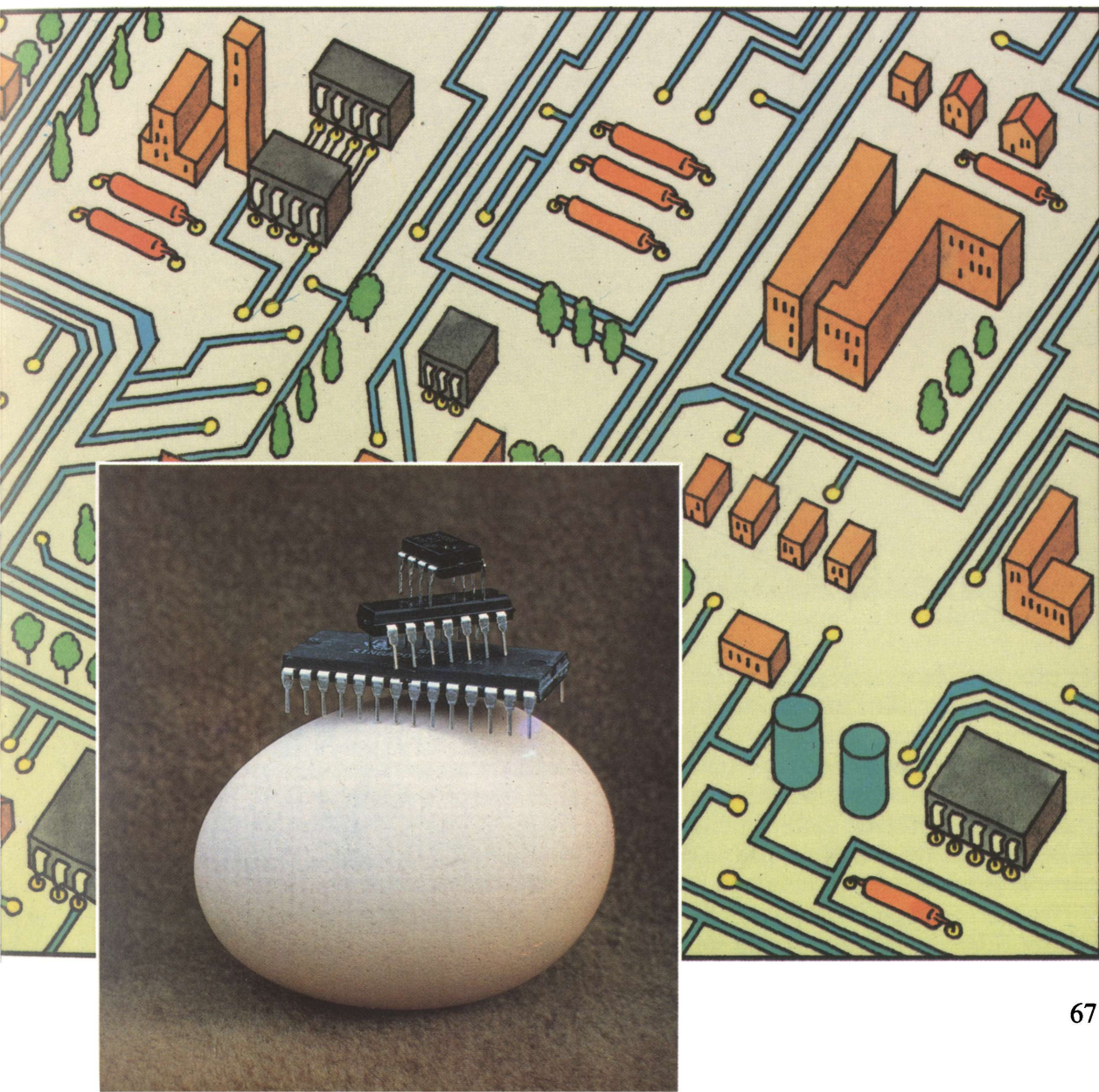
Ma, ci si potrebbe chiedere, tutte queste macchine cosí complicate non costeranno molto? Naturalmente sí. Anche progettare un circuito integrato costa molto: molte ore di lavoro degli specialisti (e il tempo, si sa, è denaro!), molto impiego di macchinari specializzati, e cosí via. Come mai, allora, si può dire che i circuiti integrati diventano sempre piú complessi... e meno costosi?

Il fatto è che le grosse spese da fare sono tutte del tipo che potremmo chiamare costi iniziali: il costo delle macchine, il tempo necessario per fare il progetto, sono tutte cose che non cambiano sia che noi, dopo, produciamo un solo circuito oppure centomila o dieci milioni. Ecco svelato il segreto... ecco come mai il vostro microcomputer costa abbastanza poco perché un ragazzo se lo possa permettere, sebbene la sua potenza (cioè la capacità di fare operazioni, la quantità di memoria e cosí via) sia superiore a quella dei primissimi computer di quarant'anni fa, che erano riservati a pochi specialisti.

In cambio, questo enorme successo dei chip (ce ne troviamo intorno dappertutto, magari senza saperlo!) ha

creato il successo di una regione molto speciale: quella che oggi viene chiamata *Silicon Valley*, la Vallata del Silicio.

Non è un posto roccioso, tutt'altro. È una vallata serena fra le montagne che circondano San Francisco: fino a pochi anni fa era celebre per i suoi frutteti, e soprattutto per le sue prugne. Poi, accadde che alcune industrie praticamente neonate, industrie elettroniche, si insediassero proprio là, vicino a due celebri università, quella di Berkeley e quella di Stanford, che vantavano un'autentica folla di "cervelli", premi Nobel o no. Industrie che crebbero con un successo inaspettato: aziende create magari da giovanotti poco piú che ventenni, come Steven Jobs che inventò il personal computer e fondò la Apple Computer.

Silicon Valley: un posto che è diventato un esempio, addirittura un modo di dire! Una vallata ancora verde, con un clima primaverile tutto l'anno, dove so-

Si dice che un microprocessore è come una città: con le strade affollate di bit, la biblioteca piena di informazioni, l'ufficio contabilità dove si fanno somme e sottrazioni, la centrale telefonica per conversare col mondo... ma visto nella realtà, chiuso nella sua scatolina con tanti piedini, un chip è molto piú piccolo di un uovo!

no cresciute le tecnologie piú nuove del mondo; una vallata popolata da gente giovane, avventurosa e piena di idee... e tutti gli altri paesi del mondo stanno cercando il posto dove potrebbe nascere anche la loro *Silicon Valley*! Sulle Alpi? Sulle pendici dei Pirenei? Fra le colline coperte d'erica della Scozia?

Naturalmente, c'è un paese che è tutto una *Silicon Valley*: è il Giappone...

Codici potenti, codici segreti

Come hanno fatto le sonde interplanetarie a mandarci le fotografie dei satelliti di Giove o degli anelli di Saturno? In forma digitale, naturalmente... cioè trasmettendo attraverso lo spazio dei segnali elettrici che rappresentano tanti 0 e 1, e che poi a terra un computer adopera per ricostruire l'immagine. Perché

Vent'anni fa questo era un immenso frutteto: era la valle di Santa Clara, famosa per le sue prugne. Oggi gli alberi sono stati soppiantati da centinaia di fabbriche, e questa è diventata *Silicon Valley*: la valle dell'elettronica. Ognuna di quelle fabbriche racchiude una storia: il mondo dei computer, soprattutto dopo la comparsa del chip e del personal, sembra uno straordinario romanzo a puntate in cui giovani geniali costruiscono incredibili fortune per poi perderle altrettanto in fretta, e in cui *Big Blue*, "La Grande Azzurra" (la sua sigla è sempre scritta in azzurro) - insomma, la IBM - si staglia sempre all'orizzonte.

un'immagine, si sa - anche quella sullo schermo del televisore - è fatta di tanti punti: l'astronave trasmette per ogni punto un numero che, in uno speciale codice, definisce il colore: tutto qui. Il computer a terra deve solo ritradurre i codici in colori (che magari sono dei "falsi" colori, l'importante è che si mantengano contrasti e luci).

Be', "solo" non è proprio la parola adatta. Lungo la via, attraverso tutto lo spazio, quella trasmissione andrà incontro a un mare di guai: avete presente il rumore che si sente parlando per telefono, a volte? O quello che disturba le trasmissioni radio? In milioni di chilometri di viaggio, il nostro segnale incontrerà una quantità di disturbi: e c'è il rischio che, quando arriva, non sia proprio piú comprensibile.

Gli scienziati hanno cercato di risolvere questo problema inventando dei codici particolari. Per avere la sicurezza di essere capiti nonostante i disturbi, al telefono, noi usiamo delle parole inconfondibili, o magari le ripetiamo due volte; qualcosa di simile si fa con i codici che devono essere ascoltati da un computer. Si inventano dei codici in modo che la macchina non riesca a confonderli con nessun altro, anche se ci sono dei disturbi: dei codici che permettano di scoprire i disturbi (si chiamano "correttori d'errore") o addirittura di ricostruire il messaggio giusto.

Naturalmente, la prima idea che viene in mente quando si parla di codici è codice segreto: hanno a che farci, i sistemi elettronici?

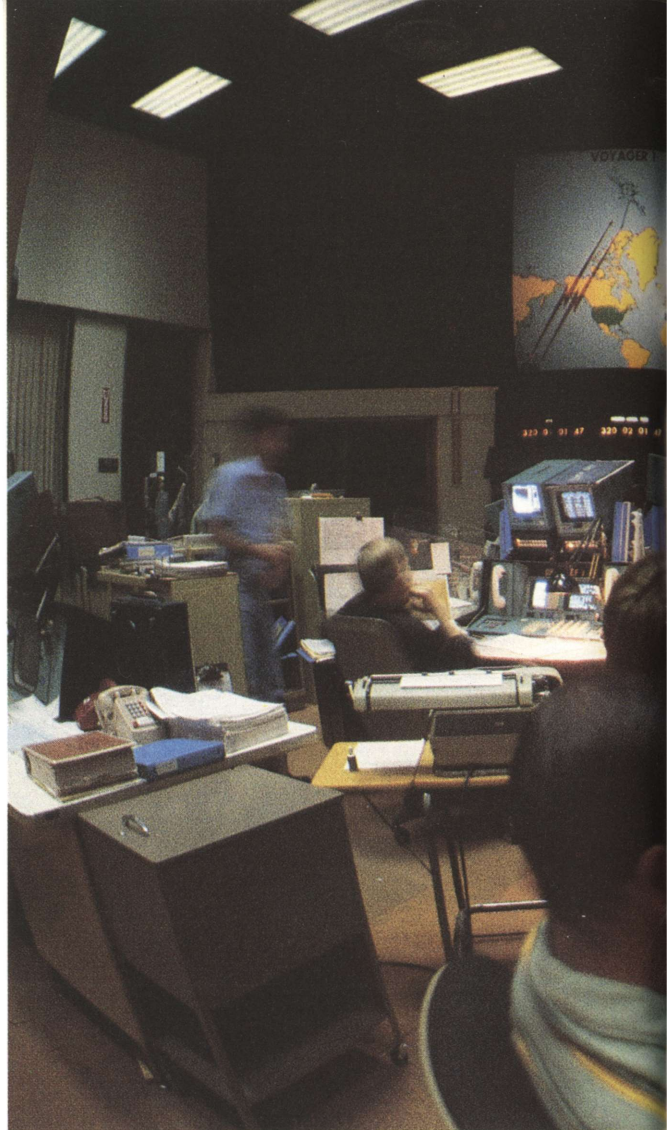
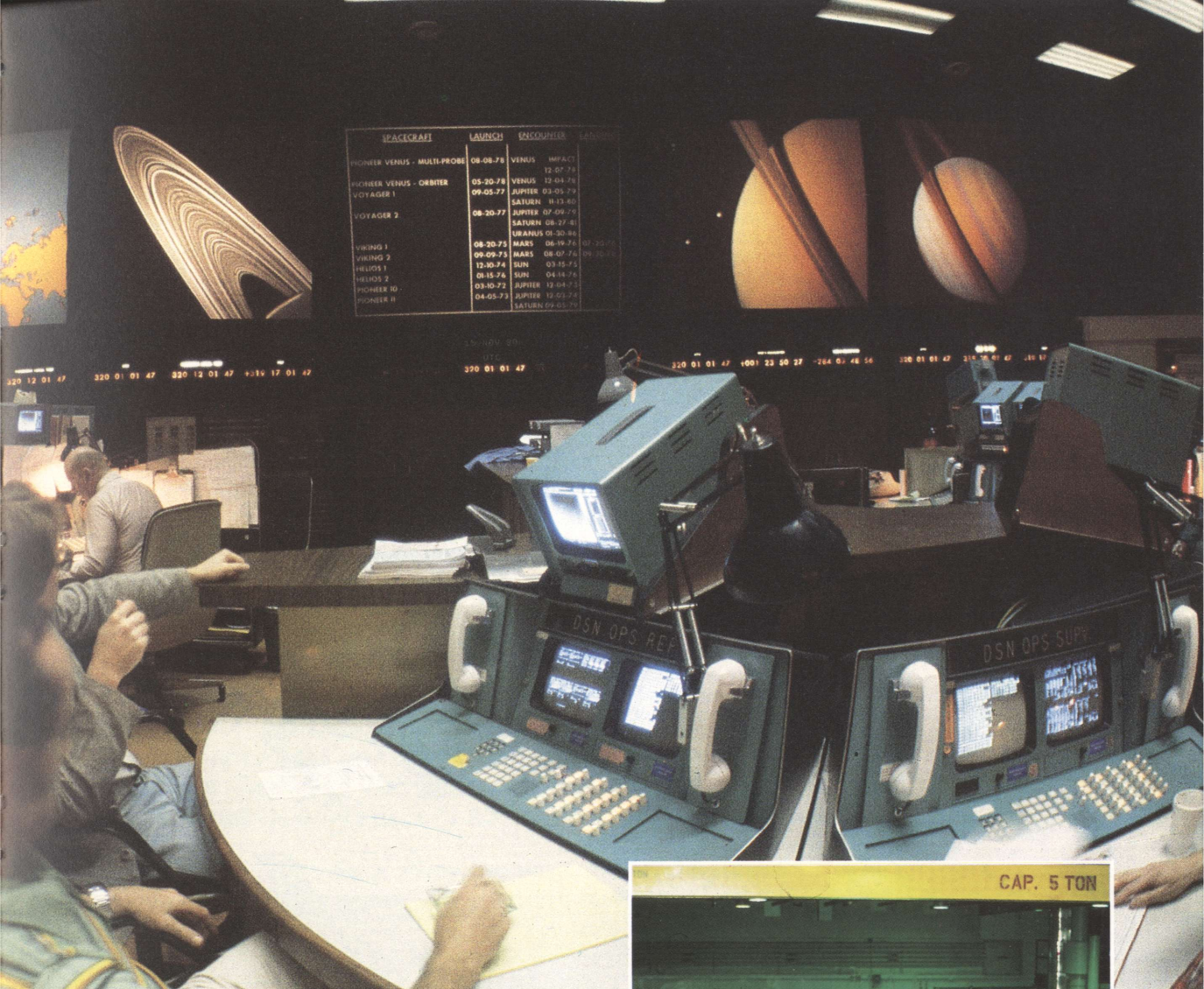
Altroché! Gli esperti parlano di crittografia (una parola di origine greca che vuol dire "scrittura segreta"). Costruire un codice segreto, si sa, significa sostituire alle lettere o alle parole del messaggio degli altri simboli: ancora delle lettere, o dei gruppi di numeri, o dei disegnini curiosi come nei "pupazzi ballerini" di Sherlock Holmes.

I codici segreti esistono, se non pro-

prio da sempre, almeno da qualche millennio; e da altrettanto tempo esistono gli esperti che riescono a decifrarli. Se ci pensiamo, poi, anche scoprire che cosa significano geroglifici o caratteri cuneiformi è stato un problema dello stesso tipo, per gli archeologi!

Già durante la seconda guerra mondiale si usarono delle macchine elettroniche per decifrare i codici segreti: anzi, vedremo che i primissimi computer furono usati per questo scopo. Perché già, per scoprire la chiave di un codice bisogna fare una quantità di calcoli (vedere se ci sono simboli che si ripetono spesso o in gruppi particolari, controllare se corrispondono a delle lettere o a delle sillabe ben precise nel linguaggio del nemico...) e bisogna anche fare un enorme numero di tentativi. Non ci servirebbe molto, se impiegassimo cent'anni per decifrare i messaggi del nemico! Anche oggi, nelle centrali dei servizi segreti ci sono grandi computer che vengono utilizzati solo per questo scopo, e specialisti che non si occupano d'altro.

Naturalmente, si è subito pensato di adoperare il computer anche per costruire i codici segreti, in modo che sia quasi impossibile decifrarli. Si è già detto che il modo per scoprire che cosa significa un messaggio in codice consiste proprio nel cercare di riconoscere certe particolari caratteristiche del linguaggio; se noi riuscissimo a codificare tutto in una volta l'intero messaggio - e non piú le singole lettere o anche le singole parole - cosí, a caso, tirando a sorte volta per volta la lettera da sostituire a quella originale, nessun nemico riuscirebbe mai a scoprire che cosa volevamo dire (be', potrebbe ripetere tutti i tentativi a caso, e naturalmente se li provasse proprio tutti alla fine scoprirebbe anche il messaggio giusto, ma una vita intera non gli basterebbe per riuscirci!). Il guaio, evidentemente, è che nemmeno noi - cioè, i nostri amici che ricevono questo ingarbugliatissimo codice - riu-

sciremmo mai a decifrare un simile messaggio. Se però non siamo noi a tirare i dadi, ma è un computer (oh, andiamo! Certo che non c'è una manina meccanica che butta i dadi! Ci sarà un algoritmo, un metodo matematico che fa finta di tirare i dadi...) e se dall'altra parte - dalla parte di chi riceve il messaggio - c'è un computer numero due che sa esattamente come il numero uno ha giocato, ebbene, il numero due riuscirà benissimo a decifrare il messaggio, ma per chiunque altro sarà un lavoro terribilmente difficile, un lavoro di secoli: cioè, in pratica, impossibile.

È esattamente cosí che oggi si costruiscono e si decifrano i messaggi segreti.

Sopra: la centrale spaziale di Pasadena. Satelliti e sonde spaziali hanno ampliato molto le conoscenze sull'universo. Nella conquista dello spazio il computer occupa un posto importantissimo: dal progetto di una missione fino al suo completamento, centinaia di calcolatori vengono utilizzati ad ogni passo.
A destra: un bunker del N.O.R.A.D., il cui sistema di cupole radar fornisce le informazioni alla catena dei supercomputer della Difesa americana.

Anzi, ci sono perfino speciali circuiti elettronici per farlo: ogni circuito vi permette di scegliere un codice fra... diciamo, miliardi di codici possibili. Non c'è proprio possibilità che il nemico incappi nello stesso codice!

A meno che, naturalmente, non ci sia una spia...

Rappresentare numeri, lettere, figure

Dunque, abbiamo visto che transistor e cose simili possono funzionare come interruttori, e che ci permettono di rappresentare dei valori come vero e falso e di realizzare quelle semplici operazioni inventate da George Boole e compagnia. Ma come possiamo utilizzarli per costruire un computer? Come possiamo usarli per rappresentare dei numeri, delle lettere, addirittura delle immagini o qualsiasi altra informazione?

Prima di tutto, se abbiamo due valori vero e falso, nulla ci vieta di dire che vero vale 1 e che falso vale 0: abbiamo dunque due cifre. Ma con due cifre, cioè con la base due, possiamo rappresentare qualunque numero: l'abbiamo già visto! Usando i nostri interruttori elettronici siamo dunque in grado di "costruire" dei numeri. E se vogliamo "costruire" una lettera dell'alfabeto?

Si tratta di un problema di codici. In fin dei conti, anche il codice Morse, inventato ai tempi del telegrafo, aveva solamente due simboli, il punto e la linea: eppure, ci si potrebbe trasmettere anche la "Divina Commedia". Lo stesso vale per lo 0 e l'1 dei sistemi elettronici digitali: basta metterne in fila un numero sufficiente, e costruire dei gruppi diversi di zeri e di uno a seconda che si voglia rappresentare la lettera A maiuscola oppure una r minuscola, una parentesi aperta oppure un punto e virgola, e il gioco è fatto!

Ora, siamo riusciti a rappresentare un numero o una lettera e possiamo anche immaginare come si fa a trasmetterli da un punto all'altro del computer: se diciamo che una tensione di 5 volt vale 1 e una tensione di 0 volt vale 0, si tratta solo di fare tanti collegamenti elettrici (per fortuna, i circuiti dei computer attuali funzionano a tensioni cosí basse che non è facile prendersi una scossa, a meno di non toccare proprio la presa di corrente). Ma come possiamo costruire un circuito che sappia fare dei calcoli?

Supponiamo di voler fare l'operazione aritmetica piú elementare di tutte: l'addizione. Dal momento che i nostri numeri sono rappresentati in base due, facciamo l'addizione piú banale possibile: quella di due sole cifre binarie, cioè di due bit. Ogni addendo, quindi, può valere solamente 0 oppure 1: vogliamo costruirci la tabellina della somma?

se il 1° addendo vale 0 e il 2° vale 0, la somma è 0

se il 1° addendo vale 0 e il 2° vale 1, la somma è 1, certo!

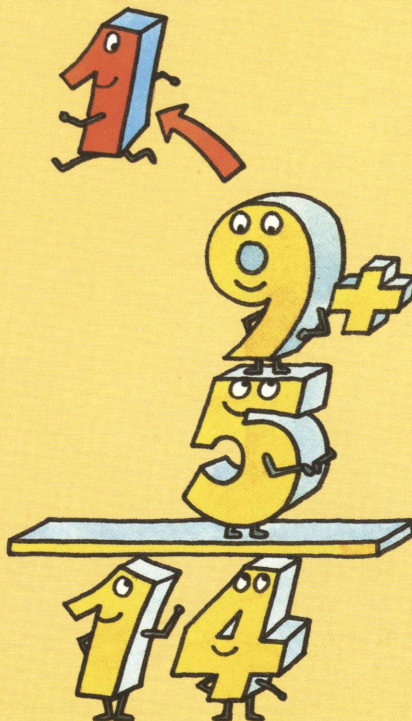
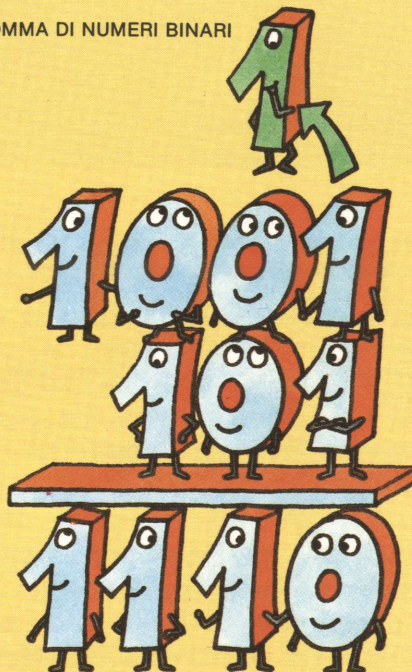
se il 1° addendo vale 1 e il secondo vale 0, la somma è ancora 1

se il 1° addendo vale 1 e il 2° vale 1...

... questo è un piccolo guaio. La somma, in cifre decimali, sarebbe un 2: ma il 2 ha bisogno di due bit per essere rappresentato, dato che significa "nessuna unità piú una volta due", cioè 10 (attenzione, è un 10 binario!). Quindi la somma sarà 0 con un *riporto* di 1 (i riporti funzionano esattamente come nell'aritmetica decimale). Il nostro circuito dovrà dunque essere progettato partendo da un ragionamento logico di questo tipo:

- la somma vale 1 se il primo addendo vale 1 ma il secondo *non* vale 1, oppure se il secondo addendo vale 1 ma il primo *non* vale 1
- il riporto vale 1 solo se il primo *e* se il secondo addendo valgono contemporaneamente 1.

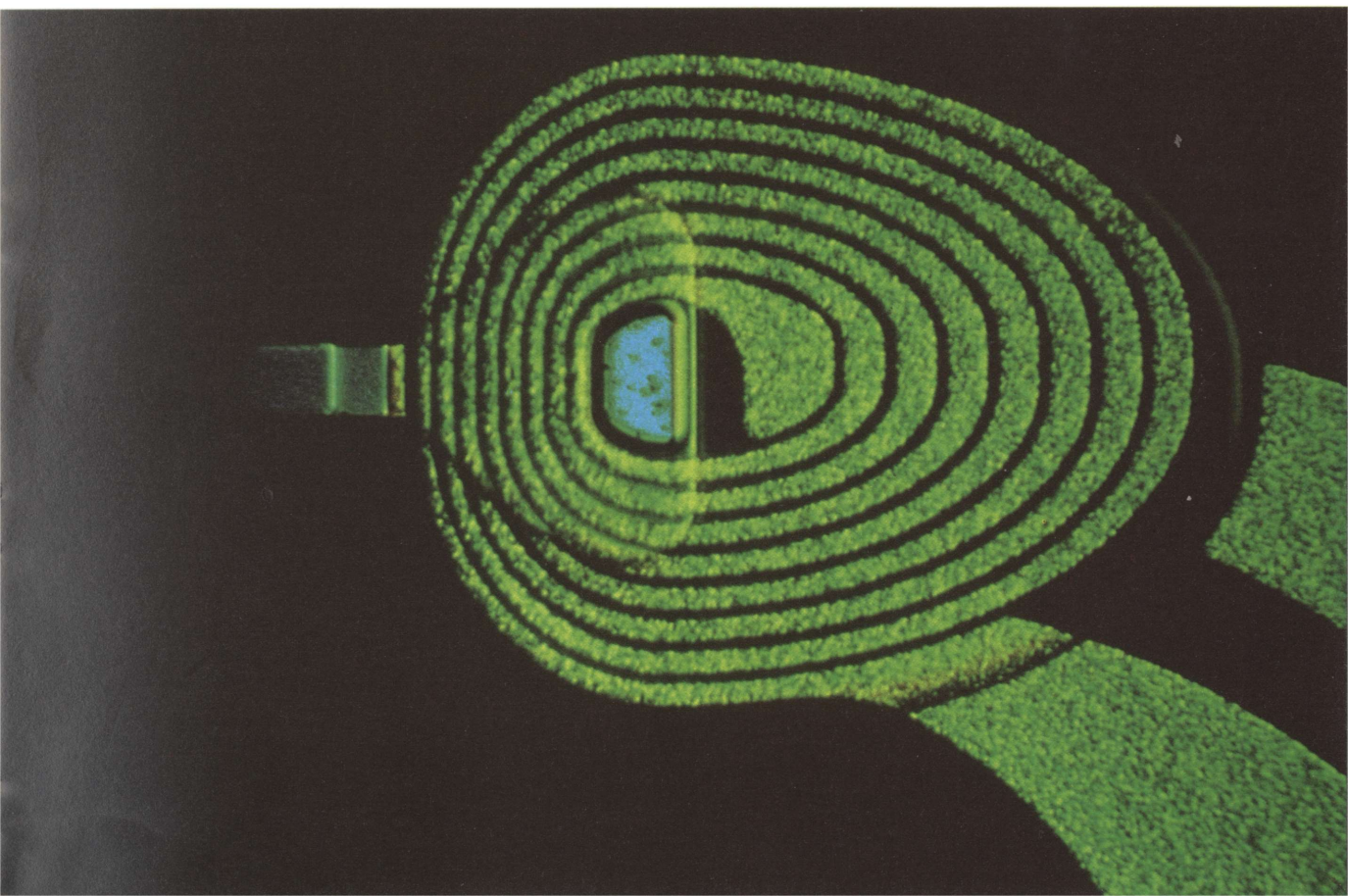
Cioè, usando le operazioni "booleane", scriveremo:
somma = [addendo 1 and (not addendo 2)] or [(not addendo 1) and addendo 2]
riporto = addendo 1 and addendo 2

Se vogliamo sommare due numeri piú lunghi, naturalmente dovremo fare un circuito di addizione piú grande e complesso, ma potremo seguire lo stesso modo di ragionare. Anzi, grazie ai riporti, potremo collegare tanti circuiti piú semplici uno dopo l'altro!

Memoria memoria...

Di memoria, quando si discute di un marchingegno elettronico, abbiamo imparato a parlare tutti. Memoria del nostro personal computer, memoria della calcolatrice tascabile extrapiatta, memoria anche per certi orologi digitali.

In un calcolatore elettronico, la memoria è una parte indispensabile: certo, occorre che il computer sappia fare operazioni piú o meno complicate, ed è necessario che abbia la capacità di leggere dati e comandi e di scrivere dei risultati, ma se non fosse anche capace di mantenere registrati al proprio interno (nella memoria, appunto) dati, comandi e risultati che possono venirgli utili piú tardi... be', non sarebbe un computer! Sarebbe solo una calcolatrice, e anche di quelle piú stupide, incapace di ricordarsi il valore del franco svizzero mentre noi facciamo tutta una serie di conti sul cambio davanti alla vetrina di un negozio di Lugano, o incapace di accumulare un'intera successione di somme senza chiederci ogni volta di reintrodurre i due addendi. Un computer, poi, ha bisogno di memoria per scrivervi il suo programma, la successione di comandi che poi eseguirà automaticamente per compiere il lavoro che ci aspettiamo da lui; anzi, proprio questa è la sua caratteristica piú importante.

Il buon vecchio Babbage, per la sua macchina analitica, aveva utilizzato memorie fatte di ingranaggi, cilindri e schede perforate; qualcosa di terribilmente ingombrante e difficile da costruire. Quando realizzarono il primo calcolatore elettronico, nel 1946, gli scienziati si trovarono di fronte al problema di dargli una memoria: in teoria, si sarebbe potuto costruirla facendo dei

Sembra un dipinto astratto? Un gioiello? Niente di tutto questo: è una spirale di metallo "depositata" (spruzzata in un velo sottilissimo) su quella che diventerà la testina di registrazione per il disco magnetico di un computer.

particolari circuiti elettronici, ma sarebbe stata fragile e molto costosa! Le prime soluzioni erano terribilmente complicate (per esempio, lunghi tubi di mercurio in cui si realizzavano particolari condizioni elettriche): per fortuna, ben presto si scoprí l'uso di... di qualcosa di estremamente antico: la calamita!

Vediamo un po': in un computer, noi vogliamo registrare dei codici fatti di due simboli, vero e falso, 1 e 0, possiamo chiamarli come vogliamo. Ci occorre qualcosa - una grandezza fisica, un segnale - che abbia anch'esso due valori: l'interruttore aperto o chiuso, la corrente che passa (cioè ha un certo valore diverso da zero) oppure non passa (e vale zero), la tensione che vale 5 volt oppure 0 volt, sono tutti esempi di segnali con cui noi possiamo rappresentare i nostri simboli a due valori, i nostri bit.

E la calamita? Se ci pensate, anche la magnetizzazione ha due segni: qualsiasi calamita ha un polo nord e un polo sud (se si avvicinano due sbarrette di ferro magnetizzato si vede che in un senso si attraggono, ma rigirandone una, le due sbarrette si respingono). Verso la metà degli anni '50, alcuni scienziati americani inventarono la "memoria a nuclei magnetici". Un "nucleo" è un anellino di ferro; facendovi passare dei sottili fili di rame percorsi da una corrente elettrica, l'anellino di ferro si magnetizza, cioè diventa una piccola calamita o di segno positivo o di segno negativo a seconda del segno della corrente elettrica. Quando la corrente non passa piú, l'anellino di ferro resta magnetizzato: è diventato cioè una piccola memoria da un bit. Con dei sistemi elettrici un poco piú complicati, si può poi leggere quel che c'è scritto nella memoria.

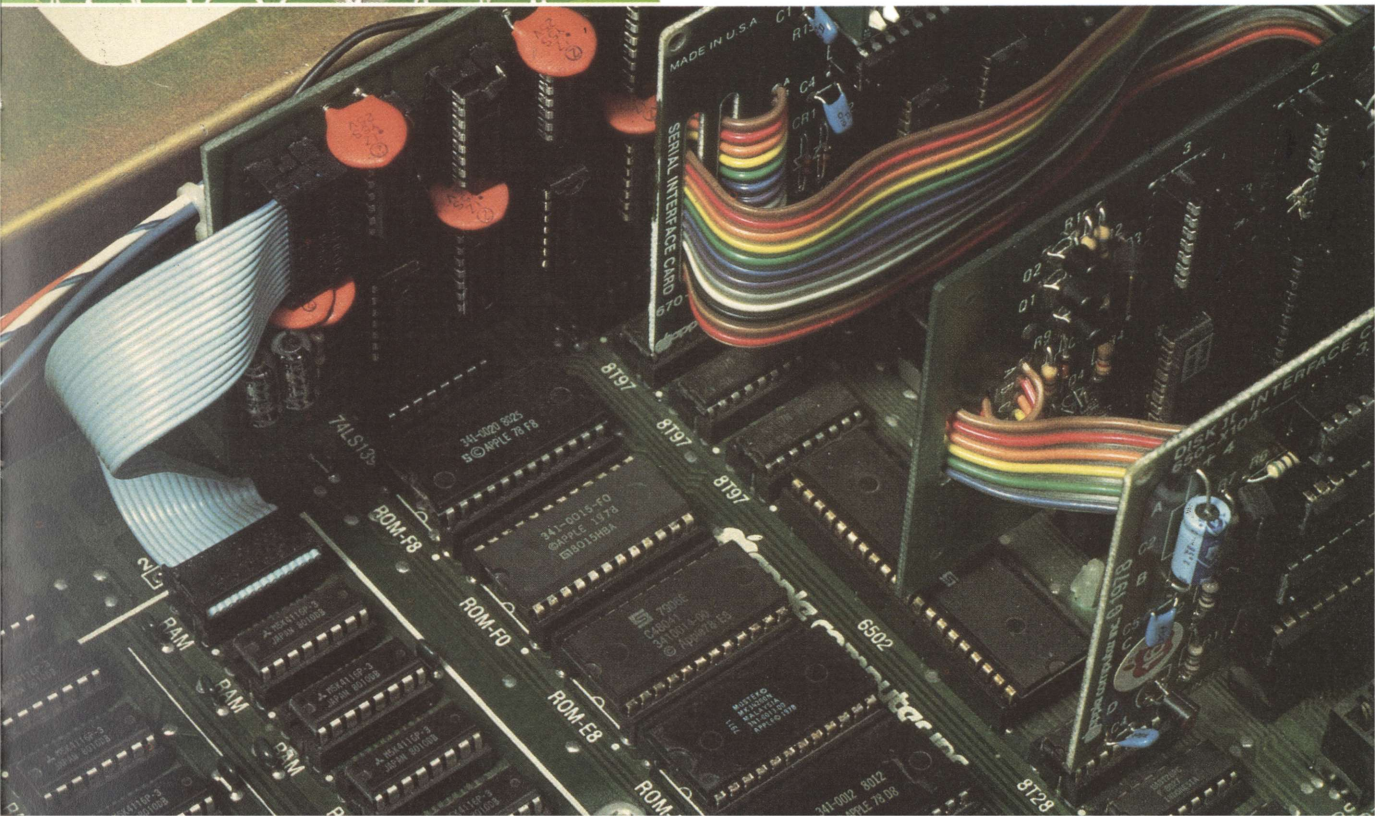
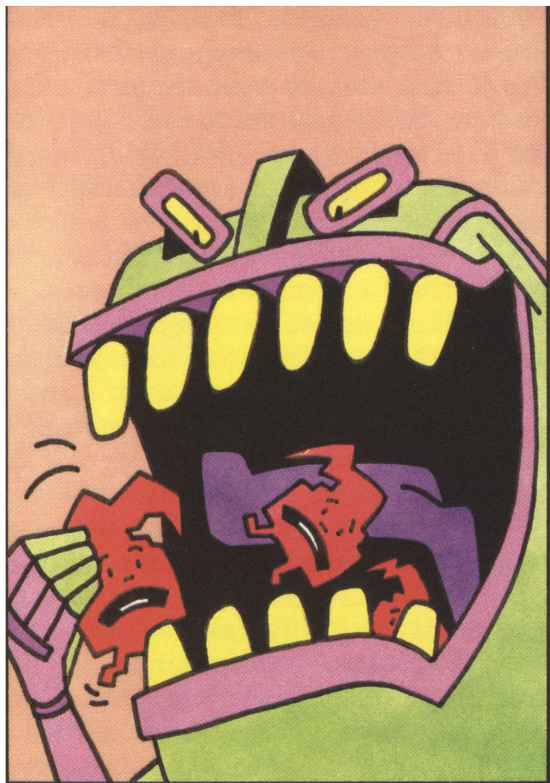
Le memorie a nuclei magnetici si sono usate per una ventina d'anni; avevano una quantità di vantaggi - erano robuste, sicure, non dimenticavano quel che c'era scritto anche se mancava la corrente. Certo, dal punto di vista di

Sotto: tutti i computer hanno una grande fame di memoria. Ci sono memorie di vari tipi: quelle a sola lettura, le ROM, sono come... un bosco di grandi alberi piantati molto tempo fa, e che ora non è possibile spostare a meno di distruggere il bosco. Le memorie a lettura e scrittura, le RAM, sono come un'aiuola: si può spostare una piantina, aggiungere un geranio, togliere una primula!
A fronte, in basso: la piastra di un personal computer con le componenti RAM e ROM.

oggi, erano ingombranti (gli anellini di ferro, per piccoli che fossero, erano pur sempre grandi come perline) e consumavano una discreta quantità di energia.

Con l'arrivo dei circuiti integrati, si cominciarono a costruire in serie delle memorie elettroniche, in cui speciali circuiti servono a registrare ogni singolo

bit. Di memorie elettroniche, in realtà, ce ne sono due tipi (che sono usati ambedue in qualsiasi personal computer): un tipo si chiama "memoria a sola lettura" (la sigla inglese è ROM), l'altro si chiama "memoria a lettura e scrittura" (la sigla inglese è RAM).

Che cosa vuol dire? La ROM è... diciamo che è come un foglio di carta su cui l'editore decide di stampare qualcosa: a quel punto, quanto è scritto sul foglio non può piú essere modificato, a meno di distruggere il foglio; può solo essere letto. Lo stesso succede con la ROM: il fabbricante vi scrive all'inizio dei dati o dei programmi fissi, e il computer potrà solo leggerli, mai modificare nemmeno un bit. Ad esempio, una normale calcolatrice tascabile contiene una ROM in cui sono stati registrati al momento della fabbricazione tutti i comandi, tutti i programmi necessari per eseguire le operazioni che si possono chiedere premendo un tasto. In un computer vero e proprio, nella ROM sono scritti i comandi indispensabili, i programmi necessari perché il computer si metta a funzionare quando lo accendia-

Sopra: un polo magnetico è il maggior nemico di nastri e dischi magnetici, i cui programmi possono venire cancellati dalla sua vicinanza, mentre nulla può contro i dischi ottici.
A fronte: qualunque centro di calcolo ha degli archivi che ospitano enormi quantità di dati e anche di programmi registrati su dischi (1) o su nastri magnetici (2) o addirittura su dischi ottici (3). A volte, le informazioni registrate hanno un grande valore, e si devono impiegare mezzi molto costosi per proteggerle.

mo, e non resti inerte come uno stupido ammasso di plastica, metallo e silicio!

Se vogliamo una macchina che sappia fare solo certe operazioni – da scegliere, magari, premendo un tasto – ci occorre una ROM; al piú, ci servirà una piccola memoria a lettura e scrittura in cui scriveremo di volta in volta i dati su cui stiamo lavorando (è quel che succede con le calcolatrici tascabili). Se però vogliamo un computer generale, capace di eseguire compiti diversi a seconda di quel che vogliamo noi (magari di fare calcoli matematici al pomeriggio e di suonare musica la sera) ci occorre una memoria che si possa cancellare per riscriverci dentro qualcosa di diverso: un foglio di quaderno su cui scriviamo con la matita, insomma. Questa è una RAM.

Oggi, ci sono circuiti integrati capaci di ospitare addirittura un milione di bit: se pensate che per rappresentare un "carattere" della macchina da scrivere è necessario un codice fatto di sette bit, vedete bene che su un solo chip si potrebbe registrare un lungo racconto!

La RAM, però, ha un grosso difetto: quando spegniamo il computer, la RAM dimentica prontamente quel che c'era scritto: per fargliélo tenere a mente dobbiamo ricorrere a trucchi molto particolari. E per di piú una RAM, per quanto grande, non è mai abbastanza grande (nessuno ha tante pretese come qualcuno che usa un computer...) e comunque non si può toglierla dal computer, portarla in giro, scambiarla con quella di un amico: se la RAM è il quaderno che resta sempre sul banco di scuola, ci occorre anche una quantità di taccuini d'appunti da portarci in giro!

Su un computer, queste sono le "memorie di massa" (si chiamano cosí perché possono servire per registrare grandissime quantità di bit). Si usano, ad esempio, dei nastri magnetici: nastri di plastica ricoperti di un materiale che può essere magnetizzato, esattamente come i nastri magnetici di un magnetofono: anche il modo di funzionare è lo stesso. Quando registra qualcosa, il computer magnetizza in senso positivo o negativo tante piccole aree di nastro che rappresentano ognuna un singolo bit; quando legge il nastro, va a esaminare la magnetizzazione di tutte queste piccole aree. Per queste operazioni, si usano delle apposite testine, esattamente come nei sistemi audio. Una versione piccola dei nastri magnetici – le familiari cassette – si usa anche sui piccoli computer (e molti tipi di "home computer" permettono di usare un normale regi-

1

2

3

stratore audio per registrare o leggere queste cassette).

Il difetto del nastro, però, è che è piuttosto lento: se volete leggere qualcosa dovete avvolgere tutto il nastro (o la cassetta) fino al punto in cui è scritto quel che vi interessa, e questo può richiedere anche parecchi secondi; un tempo incredibilmente lungo, quando al computer bastano pochi milionesimi di secondo per fare un'operazione! Per di piú, sul nastro, di informazioni, ce ne stanno relativamente poche... ecco allora comparire i "dischi". Ci sono anche sugli home computer, certo; quelli sono i "dischetti flessibili", i "floppy disk"; sui computer piú grandi i dischi hanno un diametro pari a... almeno a quello di un long playing, e sono rigidi. Anche sui dischi i bit sono registrati magneticamente, come sui nastri; la registrazione non è fatta lungo una spirale come nei normali dischi audio, ma su cerchi (o piste) concentrici. Ritrovare un'informa-

zione su un disco è un'operazione molto piú veloce che non la ricerca sul nastro: si tratta di identificare la pista che ci interessa, e poi di cercare il punto giusto lungo la pista, senza dovere svolgere un nastro; nei sistemi piú grandi e costosi, poi, c'è una testina di lettura per ogni pista del disco, cosí che non si deve perdere tempo per muovere il braccio che reca la testina! Per cercare un'informazione con i dischi piú veloci ci occorreranno in media alcuni millesimi di secondo: un tempo mille e piú volte piú lungo che con una memoria elettronica, ma molto, molto minore che con un nastro! Inoltre, su un grande disco rigido si possono scrivere molte centinaia di milioni di bit...

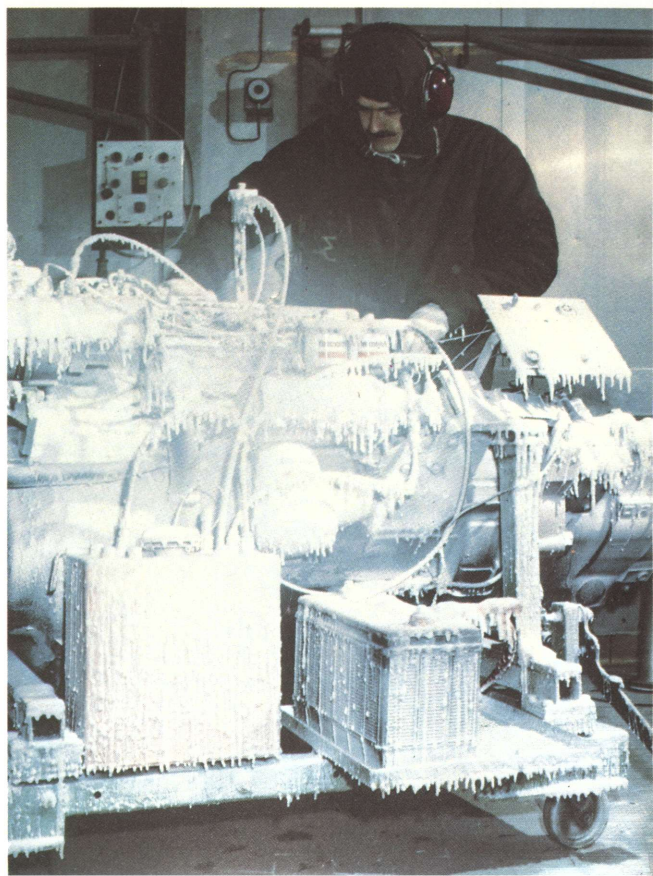
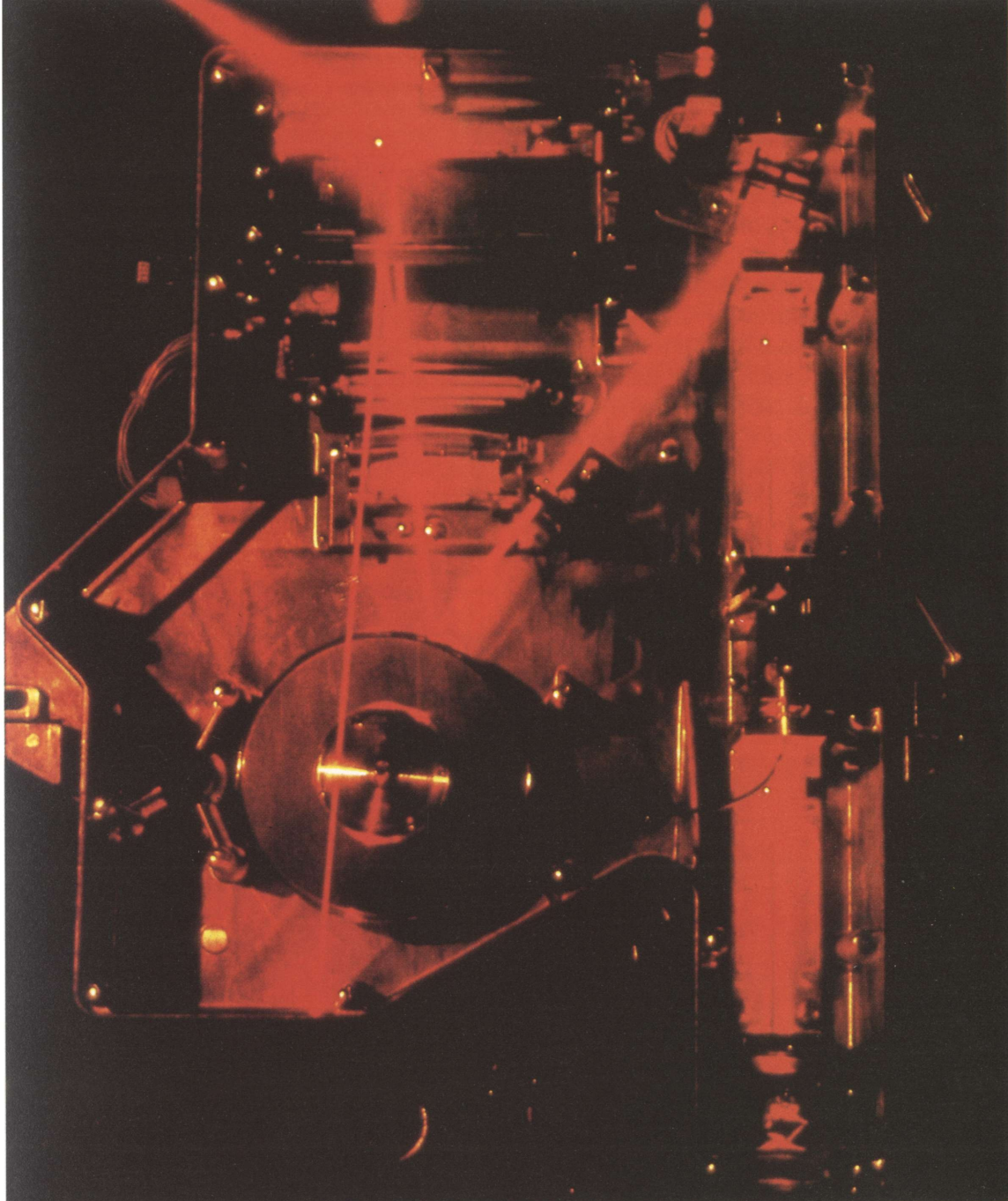
Ci sono altre memorie, piú grandi e piú veloci ancora? Naturalmente sí: uno dei metodi piú nuovi utilizza dischi particolari - i "dischi ottici" - che sono poi gli stessi usati come videodischi e dischi audio "compact". È una tecnica che fa uso di uno strumento che non abbiamo ancora incontrato: il laser.

E domani, laser e Grande Freddo?

Come saranno i computer del futuro? Meglio non sbilanciarsi a fare previsioni: di quelle fatte negli ultimi quarant'anni, una buona percentuale si è rivelata clamorosamente sbagliata... però possiamo parlare di alcune tecnologie che sembrano promettenti.

Tecnologie che si stanno già usando, magari per dei modelli sperimentali, costruiti in qualche laboratorio di ricerca. E allora, parliamo subito di luce!

Volendo essere precisi, si dovrebbe parlare di tecnologie ottiche: e in realtà - almeno per alcune applicazioni - sono già uscite dai laboratori per diventare autentici strumenti di lavoro. Alla base di tutto c'è il laser, il raggio di luce "coerente": un raggio cioè composto da onde luminose tutte dello stesso colore, che non si disperdono come succede per la luce normale, ma viaggiano restando sempre unite (e possono portare con sé una grandissima quantità di energia). Grazie al laser è nato il disco ottico: che è poi uno strettissimo parente del videodisco e dei nuovi dischi audio compact. È un disco rivestito di uno speciale materiale che viene inciso con un raggio laser. Questa volta, abbiamo un disco veramente digitale: il laser scava un piccolo foro là dove dovrebbe scrivere 1 e non colpisce la superficie se invece doveva scrivere 0: ancora una volta, abbiamo una grandezza che può avere solo due valori. Al microscopio, un disco di questo tipo ha una superficie costellata di minuscole tacche, piccolissimi fori, e questo vale anche per un disco che registra immagini o suoni: tutto deve essere tradotto in numeri prima di essere registrato su un disco ottico!

E per leggere? Nella testina c'è un altro piccolo laser (questa volta poco potente), il cui sottilissimo raggio colpisce la superficie del disco e viene riflesso in

A quanto pare, i computer del futuro sfrutteranno il freddo... A temperature bassissime (circa 270 °C sotto zero) compaiono particolari "effetti" che permettono di costruire circuiti elettronici molto piccoli e veloci. Diversi studiosi sono all'opera per cercare di costruire dei calcolatori basati su queste tecniche.
D'altra parte, il laser lavora a pieno ritmo già oggi, e non solo per i dischi ottici (come abbiamo visto), ma anche in macchine stampanti velocissime come quella che compare qui sopra, che è capace di stampare 1800 caratteri al secondo, cioè 36 pagine al minuto!

modo diverso a seconda che nel punto in cui si sta leggendo ci sia o non ci sia un foro: un circuito nella testina si accorge di questa differenza, e conclude che c'è un 1 oppure uno 0.

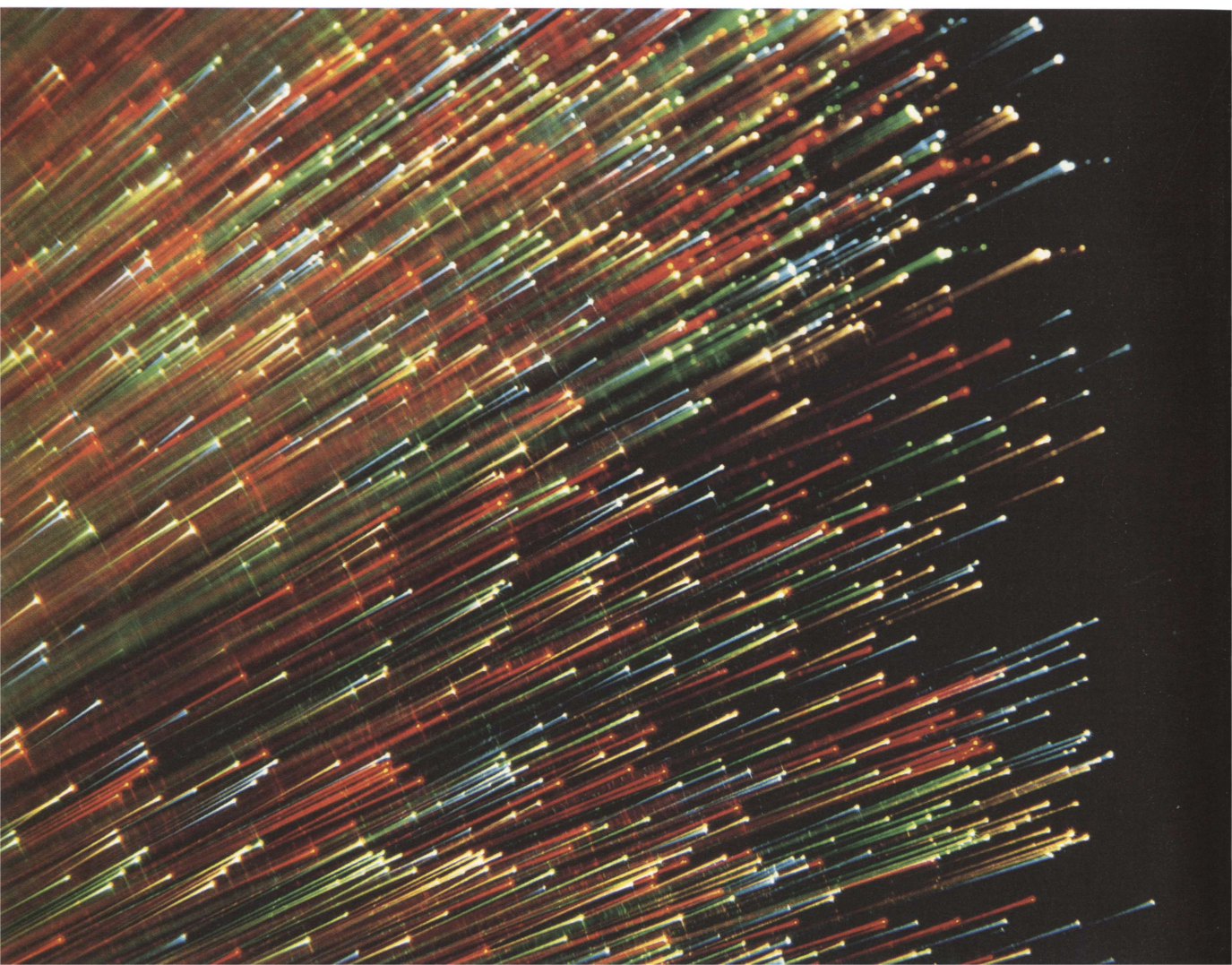
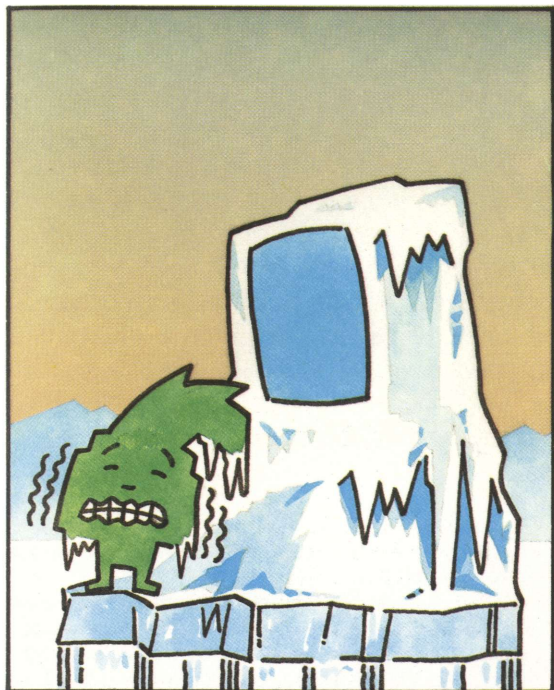
Per ora, i dischi ottici possono essere scritti una sola volta (e riletti anche milioni di volte); ma negli Stati Uniti e in Giappone si stanno studiando materiali che possono essere cancellati e riscrit-

ti... I vantaggi? Be', già ora i dischi ottici sono potenti come i migliori dischi magnetici, e in cambio non c'è il rischio che qualcuno, passando vicino con una calamita in tasca, vi distrugga tutto quel che avete registrato...

La luce sta invadendo anche il campo dei vecchi cavi telefonici: al cavo di rame si sostituisce una fibra ottica, un filo di vetro o di qualche altro materiale perfettamente trasparente, costruito in modo da non lasciar sfuggire la luce dalla superficie laterale ma da intrappolarla e guidarla lungo i percorsi piú capricciosi. Cosa piú naturale che avviare lungo queste fibre proprio degli "impulsi", dei brevissimi e frequenti segnali di luce creati da un laser?

La velocità della luce, si sa, è altissima; e altissima sarà quindi la velocità di una trasmissione fatta lungo fibra ottica. Naturalmente, occorreranno dei circuiti speciali che traducano in segnali luminosi i segnali elettronici o magari i suoni: anche circuiti di questo genere cominciano a essere disponibili. E chi usa la luce per comunicare? Ma, per cominciare, i computer! Anche loro vogliono scambiarsi informazioni, dati, comandi: e, come al solito, per loro la velocità è essenziale. Anzi, perché non usare la luce "all'interno" dei computer?

Questo problema non è ancora risol-

Sotto: presto forse, nei computer, sarà la luce e non la corrente elettrica a portare le informazioni lungo speciali fibre ottiche.
A destra: Amico Bit "surgelato" dunque? È sempre meglio non tentare previsioni: da quando esistono i computer, chi si è azzardato a dire cosa accadrà fra dieci anni è stato troppo spesso sbugiardato!

to, ma certo, se con le tecniche elettroniche abituali si possono costruire supercomputer capaci di fare cento milioni di operazioni al secondo, le tecniche ottiche potrebbero permetterci decine di miliardi di operazioni al secondo.

Altri scienziati cercano di ottenere macchine sempre piú veloci usando ancora segnali elettrici, ma sfruttando il Grande Freddo. Intendiamoci, quando si parla di Grande Freddo non si pensa a un inverno, magari siberiano; si parla di qualcosa come 270 gradi sotto zero! Temperature vicine allo zero assoluto, cioè 273 gradi sotto zero nella nostra abituale scala di temperature. Il calore, in realtà, è sempre un problema per un computer: un circuito veloce trasforma molta energia in calore, e quel calore dobbiamo eliminarlo in fretta, se vogliamo che il circuito continui a funzionare.

Se però si va a quelle temperature incredibilmente basse, alcuni metalli si comportano in una maniera molto speciale: diventano superconduttori, cioè hanno una resistenza elettrica che è praticamente zero: la corrente passa senza che una parte dell'energia elettrica si trasformi in calore (come succede di solito: provate a toccare la spina del ferro da stiro... dopo averla tolta dalla presa di corrente, intendiamoci!). E questo è già un bel risultato; a quelle temperature, poi, si possono costruire dei componenti molto piccoli che si comportano come dei transistor: ma molto, molto piú veloci di quelli al silicio!

Si chiamano "giunzioni Josephson" (il dottor Josephson è lo scienziato che li ha inventati): e anche con le giunzioni Josephson si possono fare dei chip, dei circuiti integrati. La differenza è nel tempo che questi chip impiegano per fare un'operazione: se con una delle piú veloci memorie al silicio ci occorrono diverse decine di miliardesimi di secondo per leggere o per scrivere un dato, con una memoria Josephson ci basta un decimo di miliardesimo di secondo!

Il problema, certo, sono quei benedetti 270 gradi sotto zero. Una temperatura del genere la si ottiene solo liquefacendo un particolare gas, l'elio: si sa che i gas si trasformano in liquidi a temperature molto basse, e per l'elio occorrono proprio 269 gradi sotto zero. Perché il computer possa funzionare, bisogna chiuderlo in un enorme thermos pieno di elio liquido... e per ripararlo quando si guasta, come si fa?

In Giappone si sta studiando una tecnologia che si chiama HEMT: ha sempre bisogno di temperature bassissime per funzionare "bene" (cioè a gran velocità) ma funziona, sia pur "male" (cioè piú lentamente) anche a temperature piú... umane. Questo permetterà di riparare i guasti, senza ricorrere a raffinatissimi robot capaci a loro volta di vivere nell'elio liquido!

Come sarà il computer del futuro, dunque? Sarà un appassionato del Grande Freddo? Sarà un oggetto pieno di luce? O per caso sta per nascere un'altra tecnologia ancora? Si tratta solo di aspettare pochi anni, per saperlo...

Computer!

Comincia la storia del computer...

Abbiamo visto come funzionavano (o come avrebbero dovuto funzionare) gli antenati dei nostri computer: ma com'è continuata, poi, la storia del calcolatore, dopo che Babbage aveva bisticciato con mezza Inghilterra per costruire la sua macchina analitica e dopo che Lady Lovelace aveva, piuttosto oscuramente, parlato di «numeri che rappresentano operazioni e che risiedono nella stessa parte della macchina dove risiedono i numeri che rappresentano quantità?». Certo, quest'ultimo pensiero della bella Ada sembra molto misterioso: anzi, sembra proprio una di quelle formule da alchimista o da mago! Forse, dicono gli storici della scienza, forse, anzi, probabilmente, voleva dire che le istruzioni per il computer (che sono, naturalmente, codificate anch'esse con dei numeri) devono stare in una memoria dove possiamo registrare anche i numeri "veri", cioè i dati per le operazioni da compiere. Insomma, quella frase un po' incomprensibile sarebbe una vera descrizione del computer programmabile dei nostri giorni!

Si è parlato del signor Hollerith e del suo centro meccanografico. All'inizio del '900, a quanto pare, la gente era piú ottimista e benevola di oggi, tanto che le prime macchine automatiche per fare calcoli specializzati erano tutte riservate a scopi pacifici: censimenti, gestione delle aziende, o anche... corse di cavalli.

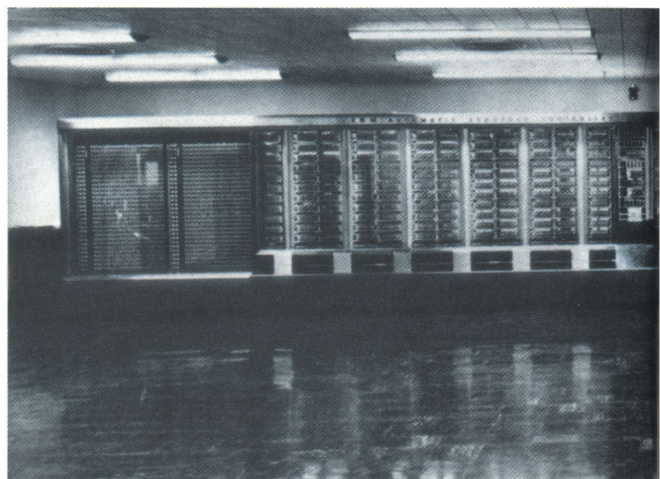
Un certo signor Julius, australiano, costruí nel 1913 un totalizzatore perfettamente automatico capace di registrare tutte le informazioni come il tipo e il numero delle scommesse fatte su un certo campo di corse, il numero di scommesse fatte su ogni cavallo, e cosí via: e di totalizzatori "elettrici" si continuò a farne allegramente, in gran numero, fino a quando il computer non divenne abbastanza potente, diffuso (e di prezzo ragionevole) da spodestarli sui campi di corse.

Passano gli anni: in Inghilterra (non per nulla era la patria di Babbage!) uno

Anche negli ippodromi l'elettronica ha la sua importanza: prima di tutto per gestire tutte le scommesse, e tutti i calcoli di quote, vincite, perdite e via dicendo! Non è poi tanto strano che già all'inizio del secolo qualcuno abbia inventato delle macchine totalizzatrici elettriche che, fra l'altro, servivano a scoraggiare un po' gli imbrogli!

studioso che si chiamava Alan Turing nel 1936 scrive un articolo in cui parla di una macchina "astratta" (una macchina cioè che non avrebbe mai potuto essere costruita, cosí com'era spiegata) ma che era però una macchina "universale". Una macchina capace di fare solo poche operazioni – leggere dei dati, scriverli, leggere dei comandi, usare i dati per fare dei calcoli e cosí via – ma che di queste operazioni poteva farne un numero

infinito (ecco il motivo che la rende irrealizzabile: nessuno è disposto ad attendere l'eternità per ottenere un risultato!). A queste condizioni, la macchina sarebbe stata capace di calcolare qualsiasi algoritmo, di risolvere qualsiasi problema traducibile con una serie metodica di operazioni. Anche se si trattava solo di un computer "sulla carta", la macchina di Turing ha avuto un'enorme importanza per la scienza: oggi, tutti gli esperti si rifanno a questo esempio per stabilire cose come la "risolubilità" di un problema e via dicendo (se un problema non può essere risolto sulla carta da una macchina di Turing, di sicuro non può nemmeno essere risolto nella realtà da un computer autentico!).

E siamo alla fine degli anni '30: c'era ancora posto per lavori di pura teoria, ma quando si trattava di applicazioni tutto veniva oscurato dalla terribile nube nera che stava coprendo il cielo europeo. Si avvicinava la seconda guerra

In alto: operatori del controspionaggio tedesco localizzano emittenti clandestine: è il 1941. I tedeschi non usarono i computer per decifrare i messaggi nemici, cosa che invece fecero gli inglesi, che costruirono per questo i famosi *Colossi*.
Sopra: *Mark I*, inaugurato nel 1949. In America i computer vennero usati per preparare le "tabelle di puntamento" per la contraerea.
A fronte: Charlot che fa pubblicità a un computer? Al tempo dei primi calcolatori non si pensava certo alla pubblicità, anzi, si lavorava in segreto!

mondiale: ogni invenzione veniva oramai valutata per i suoi meriti bellici. Sarebbe stata un'arma potente? Sarebbe stata utile per qualche scopo militare? Erano finiti i tempi spensierati del totalizzatore elettrico... e anche gli scienziati dovevano mantenere il segreto sui loro progetti, se erano stampigliati col timbro "Di Interesse Militare".

Erano tre le nazioni in cui qualcuno stava lavorando su macchine che assomigliavano ad autentici computer: la Germania, l'Inghilterra e gli Stati Uniti. Strano a dirsi, l'unico paese in cui le macchine progettate dagli studiosi vennero rifiutate dal governo fu la Germania.

L'uomo che in Germania si occupava di queste ricerche si chiamava Konrad Zuse: aveva studiato ingegneria civile, ma già da studente si era talmente seccato con i lunghi, complicati calcoli necessari per progettare un ponte o un palazzo, che aveva cominciato a pensare a

qualche macchina capace di fare i conti al posto suo. Naturalmente, c'erano le calcolatrici meccaniche, ma erano tutte prive di memoria... Per prima cosa, Zuse progettò una memoria meccanica, un archivio fatto di tante celle ognuna numerata col suo numero d'ordine (noi lo chiamiamo "indirizzo"). Subito dopo, preparò lo schema di una calcolatrice che teneva nella memoria dati e risultati, ed eseguiva le operazioni che le venivano ordinate dalle perforazioni su un lungo nastro di carta: un nastro di carta come quelli che si usano negli uffici telegrafici, per esempio, dove i gruppi di fori su una "riga" sono il codice di una lettera o di un numero. Le istruzioni per il calcolatore di Zuse dicevano alla macchina qual era, volta per volta, l'operazione che doveva compiere, in quali indirizzi avrebbe trovato gli operandi e in quale indirizzo avrebbe dovuto scrivere il risultato. Ad esempio, un'istruzione poteva essere "somma il numero che si trova nella cella 12 al numero che si trova nella cella 19 e registra il risultato nella cella 27" (be', certo, l'istruzione era scritta in un codice un po' piú conciso, ma questo era il significato!).

Zuse battezzò *Z3* il suo primo calcolatore, tutto a relé; poi cominciò a progettarne uno elettronico (a base di val-

vole termoioniche, naturalmente) e chiese al governo tedesco di finanziare il suo lavoro: dato il segreto che oramai circondava questi studi, Zuse non poteva essere certo del suo primato, ma quello sarebbe stato il primo calcolatore elettronico del mondo... se fosse stato costruito. A Berlino, gli esperti militari – che non dovevano essere poi tanto esperti – esaminarono i progetti di Zuse, discussero a lungo per stabilire se quell'ammasso di valvole avrebbe potuto essere utile per decifrare i codici degli angloamericani, e conclusero che no, quel giocattolo non avrebbe potuto servire! Fu una grossa delusione per Zuse, ma probabilmente fu una grande fortuna per il resto del mondo...

All'importanza delle nuove invenzioni, e proprio per decifrare i codici, credevano invece gli inglesi. Ritroviamo una vecchia conoscenza, il dottor Turing, che si mise a lavorare per quello che ufficialmente era il Dipartimento Comunicazioni del Ministero degli Esteri: in pratica, il settore codici segreti dell'*Intelligence Service*. Come in un romanzo di spionaggio, il lavoro si svolgeva in un centro di ricerche sperduto nella campagna inglese, a Bletchley Park, dove gli studiosi lavoravano nel massimo riserbo: e una parte dei loro lavori è ancora segreta, perfino oggi!

Turing si occupava proprio di una macchina per decifrare i messaggi nemici, e a questo scopo realizzò una serie di autentici calcolatori completamente elettronici: i *Colossi*.

Un *Colossus* era un complicato ammasso di valvole (circa 1500) che leggeva a gran velocità dei nastri di carta su cui erano perforati messaggi da decifrare e istruzioni per decifrarli: era una macchina molto speciale – non un com-

puter capace di risolvere qualsiasi problema, come avrebbe dovuto essere quella famosa macchina universale di Turing - ma era una macchina molto brillante e che ebbe uno straordinario successo... sempre in segreto. Gli stessi colonnelli che nel 1942 avevano aggrottato la fronte e borbottato che quel mucchio di valvole non avrebbe mai funzionato, nel 1943 ordinarono a Turing di costruire tutta una serie di *Colossi* ancora piú grandi, piú potenti, piú... colossali! Fra i prati e le nebbie di Bletchley Park, funzionava a tutto spiano quello che probabilmente era il primo "centro di calcolo" del mondo.

Oggi si parla addirittura di guerra elettronica: la precisione e la velocità sono essenziali per calcolare la traiettoria di un aereo o di un missile, puntare il cannone di una batteria contraerea o guidare un missile aria-aria o terra-aria. Il soldato sulla camionetta sta "puntando" con il suo computer all'aereo in volo.

E in America? I gruppi di ricercatori che si occupavano di macchine per il calcolo erano almeno tre o quattro, in varie università; tutti finanziati dal governo, ma uno finanziato anche da una grande industria, specializzata in macchine per ufficio, dalla macchina da scrivere fino al centro meccanografico... il nome della ditta? È praticamente un simbolo: IBM!

L'IBM lavorava con gli scienziati dell'università di Harvard e, per strano che possa sembrare, non credeva all'elettronica. Il primo calcolatore che si costruí ad Harvard era un mostro lungo quasi venti metri, totalmente elettromeccanico (cioè costruito con parti meccaniche fatte muovere grazie a circuiti elettrici) e si chiamava familiarmente *Mark I*. Ufficialmente aveva un nome molto piú pretenzioso "Calcolatrice Automatica Controllata da Sequenze di Comandi", ma nessuno aveva voglia di passare tanto tempo a recitare tante parole. Come la macchina di Zuse, anche *Mark I* leggeva il suo programma da un lungo nastro di carta perforato, ed era molto robusto: figuriamoci, continuò a lavorare fino al 1959, quando fu messo in pensione perché oramai era proprio troppo lento rispetto ai suoi successori. Una piccola curiosità? Fra gli studiosi che realizzarono *Mark I* c'era anche una signora, Grace Murray Hopper, che divenne la prima contrammiraglio donna della marina americana!

Dopo *Mark I*, l'università di Harvard e la IBM divorziarono, ma continuarono ugualmente a occuparsi di calcolatori. Ad Harvard si costruí *Mark II*, che era fatto di relé e aveva bisogno di un secondo o poco meno per fare una moltiplicazione; anche l'IBM si tuffò in una serie di calcolatori a relé uno piú gigantesco dell'altro, e solo nel 1948 cominciò a vendere una macchina veramente

elettronica. Si chiamava *604*, e prendeva i suoi comandi da un groviglio di collegamenti elettrici su un pannello di comando: un metodo non molto comodo per programmarlo, anche se continuò ad essere utilizzato per molti anni in certe macchine specializzate. In pratica, non occorreva una memoria per i comandi: la memoria erano tutti quei cavi e quegli spinotti elettrici infilati in tante prese contrassegnate con etichette tipo "dividi", "moltiplica" e via dicendo.

E occupiamoci, finalmente, di quello che tutti considerano il primo grosso calcolatore elettronico di tipo generale. Aveva un nome bizzarro, *E.N.I.A.C.* (una sigla che voleva dire piú o meno "calcolatore elettronico digitale"). Nacque all'università di Pennsylvania, grazie ai soldi dei militari. Anche lui! Come mai?

Se c'era una cosa che i giapponesi avevano già insegnato agli americani, era l'importanza degli aerei in guerra: i bombardamenti aerei giapponesi avevano quasi distrutto la flotta americana a Pearl Harbour, avevano permesso all'esercito del Sol Levante di conquistare le Filippine, e complessivamente avevano messo in serie difficoltà l'esercito degli Stati Uniti. Oh, sí, certo, c'erano le batterie di cannoni della contraerea; ma ahimè, erano state progettate quando gli aerei erano molto meno veloci, e volavano piú basso, e in poche parole erano molto piú facili da abbattere!

Quando avvistate un aereo (nemico, naturalmente) dovreste calcolare a gran velocità dove sarà arrivato fra, diciamo, dieci secondi, e poi tirare una cannonata contro *questo* punto: dunque, sparare a un aereo che non c'è ancora, dato che al proiettile occorrerà un certo tempo per raggiungere l'obiettivo. Il guaio è che fare questi calcoli è cosa tutt'altro che facile, anche perché il vostro proiettile, a sua volta, non vola in linea retta, ma si muove secondo una traiettoria curva. Nella prima guerra mondiale gli aerei erano cosí lenti e volavano cosí bassi

che un buon tiratore ce la faceva a centrarli (almeno una volta ogni tanto), ma ora tutto era cambiato. Occorreva fornire al soldato che manovrava il cannone antiaereo delle tabelle che gli dicevano, caso per caso, come sparare (diciamo, delle specie di tavole pitagoriche, ma infinitamente piú complicate!). E, prima ancora, occorreva fare tutti i calcoli per preparare quelle tabelle!

L'esercito americano, dunque, cercava qualcuno che inventasse una macchina capace di risolvere questo problema: se ne occupava un apposito reparto dell'esercito, il Laboratorio di Ricerche Balistiche (Balistiche vuol dire che riguardano il tiro di cannoni, missili o altre simili amenità). Le macchine di Harvard erano interessanti ma anche molto lente: occorreva fare milioni di calcoli per compilare quelle benedette tabelle, e

ad Harvard questo significava decine e decine di giorni. Ed ecco presentarsi due giovani scienziati (uffa, quanti giovani! Forse avevano il vantaggio di non conoscere tutte le cose che secondo i pessimisti non sarebbero riusciti a fare...): John Mauchly e Presper Eckert.

Proprio perché erano giovani, entusiasti e convinti che ogni ostacolo si potesse superare, proposero il progetto di una macchina mostruosa: un oggetto per risolvere complicati problemi matematici, che avrebbe finito col contenere 19 000 valvole termoioniche e col succhiarsi 200 kilowatt di energia elettrica. Era *E.N.I.A.C.*, appunto.

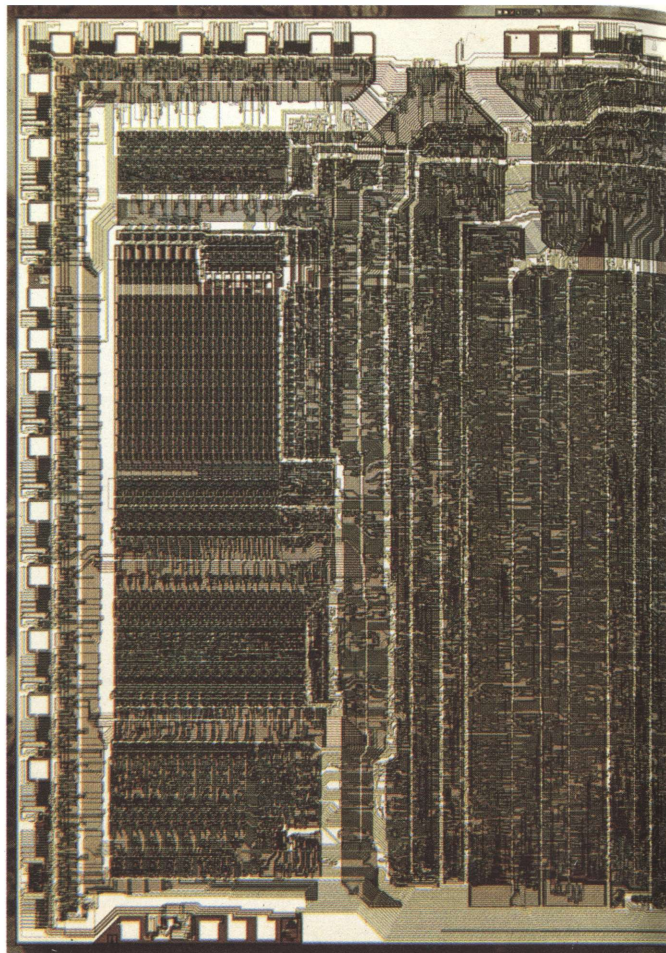
Anche *E.N.I.A.C.* era capace di far molte diverse operazioni aritmetiche, come *Mark I*, per esempio, e per programmarlo bisognava collegare i cavi elettrici su un pannello di comando oppure muovere degli interruttori (né piú né meno che degli interruttori della luce) su un quadro che i progettisti chiamavano pomposamente: tabella delle funzioni. Ma per fare una somma gli occorreva solo un cinquemillesimo di secondo... meno di un millesimo di secondo! Una velocità incredibile, mai conosciuta prima (per curiosità, ricordiamo che il microprocessore in un qualunque home computer impiega cento volte meno tempo per la stessa operazione)! E poi aveva delle memorie interne per i dati e i risultati, e insomma, quando fu completato, nel 1945, era l'ottava meraviglia del mondo. Nonostante la continua necessità di cambiargli qualche valvola rotta (e il primo problema, ovviamente, era scoprire quale delle 19 000 valvole si fosse rotta), *E.N.I.A.C.* continuò a funzionare fino al 1955. Era definitivamente nata l'era dei computer.

A sinistra: una parte essenziale, nella battaglia fra strumenti elettronici, è la telemetria, cioè la misura a distanza (e con la massima precisione) della posizione di un oggetto, della sua velocità e cosí via. Un telemetro miniaturizzato può però servire anche per scopi amichevoli, ad esempio, nascosto in una modernissima macchina fotografica!
Sotto: il primo dei computer usati per il puntamento delle contraeree, il glorioso *E.N.I.A.C.*

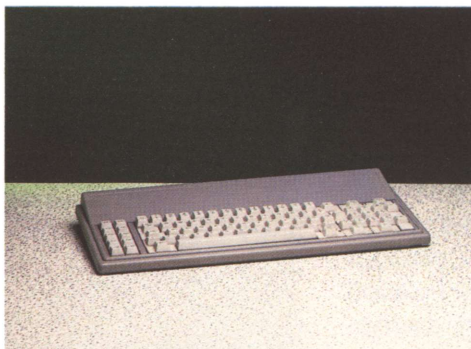
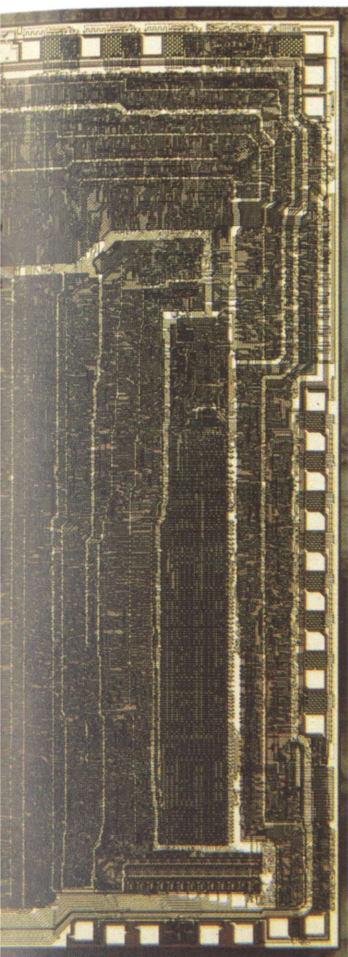
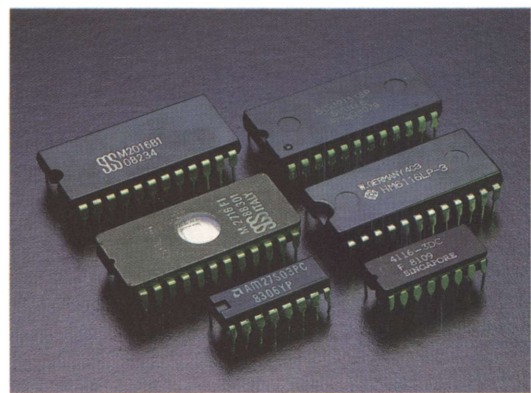
A proposito di guasti, proprio a *E.N.I.A.C.* dobbiamo un buffo vocabolo di gergo. Quando qualcosa non va – un circuito che si guasta, un programma con un subdolo errore che fa ammattire chi l'ha scritto – gli esperti dicono che c'è un *bug*: una parola inglese che significa piú o meno "insetto", ma un insetto antipatico, un baco, una pulce, qualcosa di simile. E sistemare questi guai si dice "fare il debugging", togliere i bachi. Tutto perché, in un giorno lontano prima del 1950, *E.N.I.A.C.* si rifiutava di funzionare nonostante non ci fossero valvole guaste... c'era semplicemente un colossale *bug* che aveva fatto il suo nido fra i circuiti e provocava guai a non finire!

Com'è fatto un computer: von Neumann ha un'idea...

E.N.I.A.C. non era proprio un computer come l'intendiamo noi: i comandi per fargli eseguire un particolare compito, infatti, dovevano sempre essergli forniti dall'esterno, facendogli leggere delle schede perforate – che poi dovevano essere rilette ogni volta che si voleva ripetere quel programma – oppure dovevano essere fissati muovendo interruttori, spostando cavi elettrici e via dicendo. Mancava ancora l'ultima, importante aggiunta: quella di una memoria in cui scrivere non solo i dati e i risultati, ma anche l'elenco dei comandi da eseguire: mancava cioè l'idea di un "programma memorizzato". C'è la stessa differenza che potrebbe correre fra uno studente che usa il suo quaderno solo per scriverci i dati dei problemi, ma si fa ripetere ogni volta dal professore passo per passo le operazioni da compiere, e uno che invece ha scritto anche il metodo per risolvere il problema, e se ne serve ogni volta che occorre.

È un'idea che venne esposta per la prima volta chiaramente nel 1945 da

1

Sopra: i "componenti" di un moderno personal. 1, un microprocessore (uno *Z8000* della SGS) enormemente ingrandito (nella realtà ogni lato è circa di 0,5 cm); 2, l'unità "floppy disk"; 3, la tastiera... che racchiude anche CPU e memorie di lavoro; 4, la stampante; 5, le memorie viste da vicino. 6, il disegno sullo schermo del personal è... lo schema di funzionamento di un computer!

uno scienziato americano di origine ungherese, John von Neumann; durante la guerra aveva lavorato anche lui per costruire macchine super-segrete, e si era incontrato spesso con quell'altro "padre" dei computer, Alan Turing. Tornando in America, aveva avuto modo di esaminare da vicino *E.N.I.A.C.*, e aveva concluso che quella scomoda maniera di programmarlo rendeva le operazioni molto piú lente di quanto avrebbe-

2-3-4

5-6

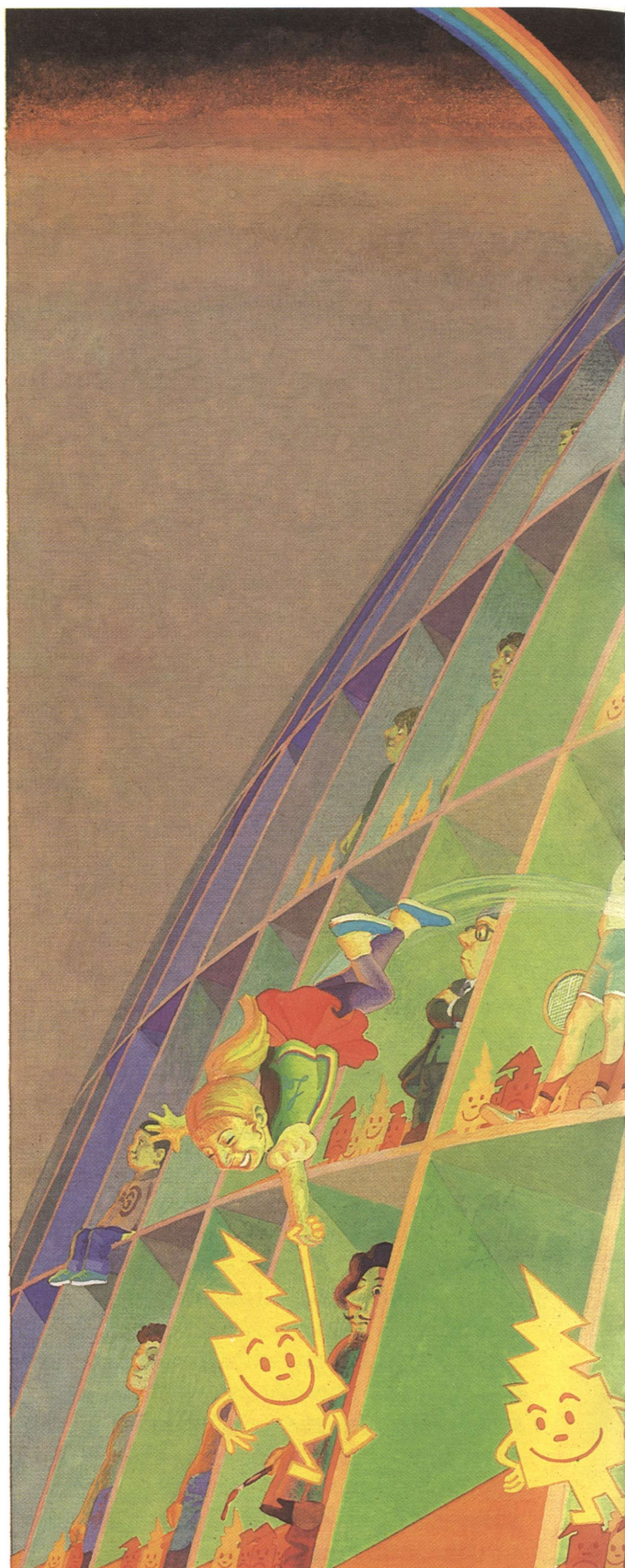
ro potuto essere: cambiare il programma era un lavoro di ore, mentre avrebbe dovuto essere questione di secondi! Cosí nacque il progetto di *E.D.V.A.C.* (siamo sempre nel campo delle sigle bizzarre): ma la cosa piú importante non fu la macchina, anche se funzionava perfettamente. La cosa piú importante fu la descrizione che von Neumann fece di come dev'essere fatto un computer – ragionando per analogie molto semplici col cervello umano – e di come deve lavorare. Una descrizione cosí geniale (e cosí chiara) che ancor oggi i computer sono fatti secondo lo schema di von Neumann, e che gli scienziati si spremono furiosamente le meningi per riuscire a inventare una qualche macchina diversa, una macchina mitica a cui non riescono a dare altro nome che quello di "macchina non-von-Neumann".

Tentiamo di seguire questo ragionamento. Per cominciare, dice von Neumann, noi ci aspettiamo che il computer faccia dei calcoli, quindi dovrà avere una parte specializzata per far conti, un'"unità aritmetica centrale". Se si trattasse di una calcolatrice, avremmo finito qui. Invece vogliamo una macchina capace di leggere delle istruzioni (scritte in codice speciale), di "interpretarle" – cioè di capirne il significato – e infine di eseguirle. Per questo occorre un'altra sezione del computer che va a trovare nella memoria le istruzioni, le interpreta, e invia gli opportuni comandi alle altre parti della macchina. La chiameremo "unità di controllo".

"Memoria"? Chi ha parlato di memoria? Ma certo! Occorre una memoria, e che sia piuttosto grande. Dovranno starci i dati del problema. Dovranno starci i "risultati intermedi": se si deve calcolare $14 \times 21 + 33$ occorre un posto dove scrivere "temporaneamente" il risultato di 14×21 per poi fare la somma col 33. E per di piú dovranno starci le istruzioni, cioè il "programma".

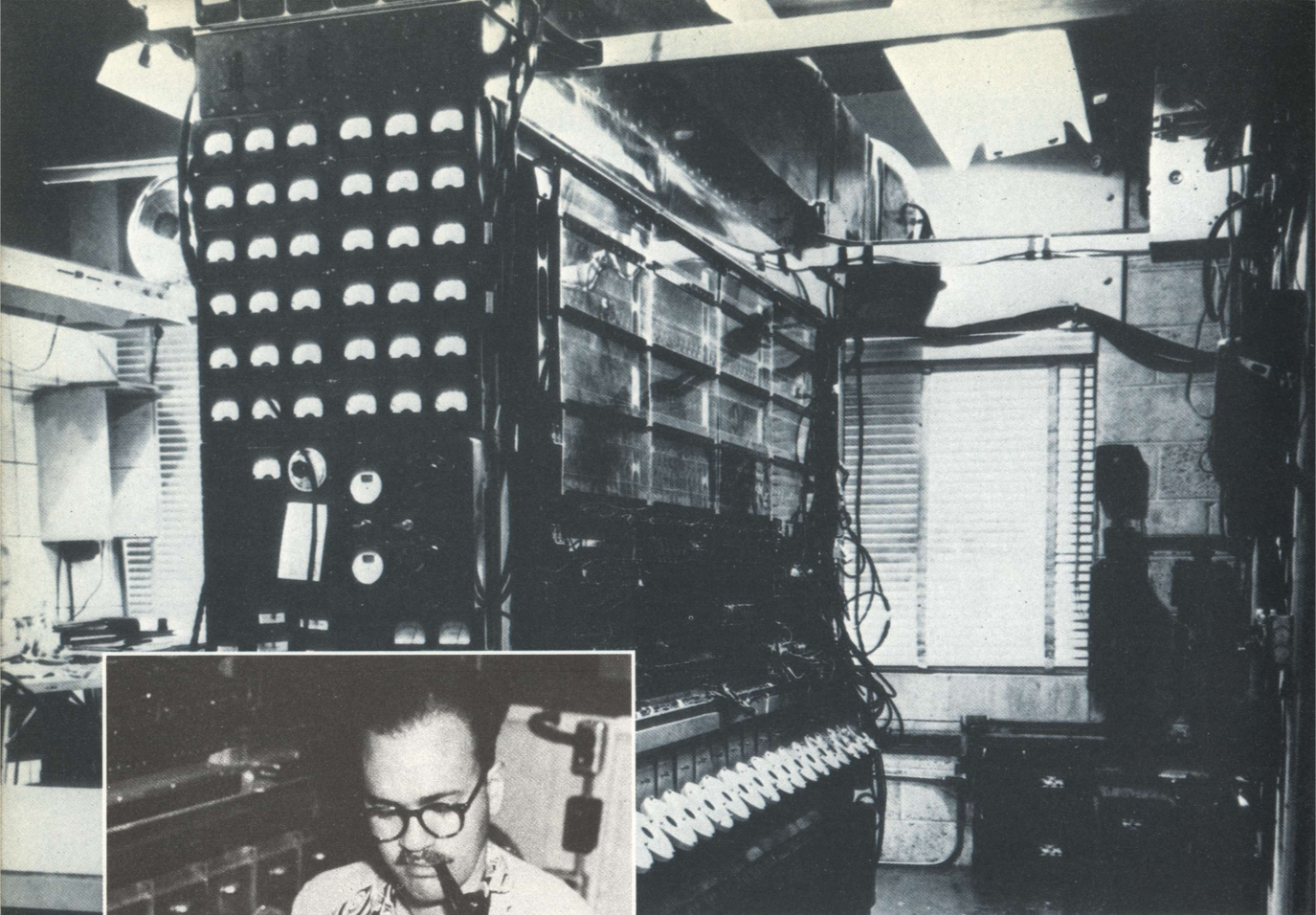
Tutti nella stessa memoria? Ma, ricordiamolo, il nostro computer è in grado di accettare (cioè di leggere e di memorizzare) solo dei numeri fatti di 0 e di 1, dei codici binari: anche le istruzioni saranno rappresentate cosí, all'interno del calcolatore: quindi, la stessa memoria può servire per tutti gli scopi!

Per ora abbiamo tre parti per il nostro computer: von Neumann sosteneva che, tutte insieme, corrispondevano all'incirca ai "neuroni associativi" nel sistema nervoso umano, cioè a quelle particolari cellule che ci servono a ricordare e a ragionare (intendiamoci, un neurone è molto piú complesso di un circuito elettronico!). Però un uomo ha anche degli altri "neuroni", senza i quali non riuscirebbe a comunicare col resto del mondo: si chiamano "neuroni sensorii" o "afferenti" - questi si occupano di inviare al cervello le informazioni su quello che vediamo, sentiamo, tocchiamo - e "neuroni motori" o "efferenti", quelli che dal cervello trasportano i comandi alle corde vocali, alle braccia, alle gambe, a tutti i muscoli. Anche al computer occorrerà qualcosa di simile: sono le "unità d'ingresso" (in inglese si dice *input*) e le "unità di uscita" (in inglese si dice *output*).

Che cosa staranno mai facendo tutti quei bit che saltano qua e là? Stanno creando i "codici" dei nomi per tutte le categorie di bambini che abbiamo sistemato nel nostro grattacielo. Se le categorie sono 16, ci occorrono quattro bit ($2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$) per costruire il codice: e ogni bit può essere giallo o rosso - vale a dire falso o vero - insomma, può avere due valori. Dopodiché, divertitevi a costruire i nomi, i "codici": "giallo-rosso-giallo-rosso", "giallo-giallo-giallo-rosso"!

Guardiamo un personal computer: la tastiera, di sicuro, è un'unità d'ingresso, cioè permette alla macchina di ricevere informazioni. Lo schermo video, invece, è un'unità d'uscita, perché serve alla macchina per informare l'uomo su quello che lei sta facendo.

Questo basta? Nemmeno per idea: la memoria non sarà mai sufficientemente grande per i nostri interessi: arriverà sempre qualcuno che vuole un programma che non è presente nella memoria, o che pretende di scrivere da qualche parte un'enorme quantità di dati e di risultati. Pensiamo al computer che gestisce l'anagrafe di una grande città: se volessimo tenere nella memoria centrale (quella di cui abbiamo parlato finora) tutte le informazioni su tutti gli abitanti – oltre, naturalmente, ai programmi per utilizzarle – non troveremmo in commercio nessun calcolatore abbastanza potente! E per di piú sarebbe un sistema poco sicuro: se mancasse la corrente, tutta l'anagrafe andrebbe distrutta...

Occorre quindi un secondo tipo di memoria, una "memoria di massa", molto piú lenta ma anche piú grande della memoria centrale, che serve da archivio per tutte queste informazioni: da cui il computer legge quel che gli occorre, e in cui scrive i risultati ottenuti.

Vogliamo vedere, ora, come funziona questa macchina di von Neumann? Naturalmente, ha bisogno di un programma: pensiamo che, in qualche modo, sia già stato scritto nella sua memoria. A un certo punto diciamo al computer dove si trova la prima istruzione che deve eseguire: se immaginiamo che la memoria centrale (o "memoria di lavoro") sia una specie di lunghissimo foglio quadrettato, in cui ogni riga contiene lo stesso numero di quadretti ed è contrassegnata dal proprio numero d'ordine o indirizzo, dovremmo specificare all'unità centrale qual è l'indirizzo iniziale del programma. Ah, i "quadretti" della riga corrispondono ai bit, e la riga in gergo

In alto: il primo vero computer a programma memorizzato: *E.D.V.A.C.* In realtà, qui si vede solo la *console* e poco più. *E.D.V.A.C.*, il cui progetto iniziò nel 1946, entrò in funzione nel 1951.
Sopra: la memoria di *E.D.V.A.C.* era costruita in modo particolare: con dei "tubi a raggi catodici" (oggetti simili al cinescopio di un televisore).
A fronte: i linguaggi permettono di "dialogare" col computer, ottenendo talvolta risultati sorprendenti anche graficamente.

si chiama "parola di memoria...", tanto per imparare a usare le parole giuste!

Benissimo, l'unità di controllo sa che all'indirizzo, poniamo, 143 è scritta la prima istruzione del suo programma. D'ora in avanti lavorerà automaticamente, senza bisogno di ricevere altri comandi (a meno che il programma non lo preveda esplicitamente). Legge dalla memoria la parola all'indirizzo 143 e se la riscrive in una sua piccola memoria personale (queste piccole memorie capaci di ospitare una sola parola si chiamano "registri"): poi incomincia a studiare che cosa significa quell'istruzione.

Immaginiamo che il codice scritto a questo indirizzo voglia dire "leggi la parola all'indirizzo 957 e portala nell'unità aritmetica". L'unità di controllo ora spedisce alla memoria il comando "lettura" insieme all'indirizzo "957", e segnala di instradare questa informazione

verso l'unità aritmetica. L'unità aritmetica riceve dalla memoria centrale il numero che era scritto in quella particolare cella e lo scrive in un suo registro speciale, che si chiama "accumulatore".

Tutto finito qui? Nemmeno per idea! L'unità di controllo si era scritta in un altro registro anche il famoso indirizzo 143, cioè l'indirizzo dell'istruzione che doveva eseguire: e questo è un registro molto particolare, capace di contare. Vale a dire che, se l'unità di controllo glielo ordina, è capace di sommare automaticamente 1 al numero che contiene (si chiama "contatore di programma"). È proprio quel che fa adesso: calcolando il valore 143 + 1, l'unità di controllo si ritrova con l'indirizzo della *nuova* istruzione da eseguire bell'e pronto... e ricomincia tutto da capo. Legge l'istruzione all'indirizzo 144, interpreta il suo significato, e via e via...

In parole povere, esegue automaticamente il programma registrato nella sua memoria (e si ferma solo quando trova un'istruzione che gli dice di smetterla!).

E.D.V.A.C. venne costruito seguendo questa falsariga: e contemporaneamente vennero costruiti tanti suoi "fratelli" e "cugini". Mauchly ed Eckert, quei due giovanotti che avevano creato *E.N.I.A.C.*, misero in piedi una loro dittarella (finanziata anche da quei tipi che fabbricavano totalizzatori elettrici) e costruirono un calcolatore elettronico chiamato *UNIVAC*. Era tornata la pace, e *UNIVAC* fu venduto... all'Ufficio per il Censimento (sorpresi?); ebbe tanto successo che una grande industria che fabbricava macchine per ufficio, la Sperry Rand Corporation, comperò la dittarella di Eckert e Mauchly, la trasformò nella propria divisione computer e la battezzò... *UNIVAC*, naturalmente. E l'IBM studiò con cura i rapporti scientifici sulla nuovissima macchina di von Neumann e iniziò un progetto per un calcolatore elettronico della stessa razza, che si sarebbe chiamato

701 (l'IBM preferisce i numeri alle sigle misteriose). Anche in Inghilterra, nella gloriosa università di Cambridge, si costruí una macchina di von Neumann battezzata *E.D.S.A.C.* Il computer era con noi. Ed era deciso a restarci!

Le macchine e i loro linguaggi

L'esempio piú antico di programma è probabilmente il venerabile Gioco dell'Oca. Ci sono tante caselle, tutte numerate, e in una casella è scritto "guadagni dieci punti", in un'altra "salta sei caselle piú avanti", in un'altra ancora "torna indietro di tre caselle"... queste sono le istruzioni per il giocatore, dunque. Ma quali sono le istruzioni di quel raffinato giocattolo che è il computer?

Noi vogliamo che il computer sia in grado di risolvere qualsiasi problema o

almeno, qualsiasi problema per cui troviamo un algoritmo, un metodo, una successione di operazioni ben precise che portino alla soluzione. Ebbene, quali sono le istruzioni che una macchina deve saper riconoscere (ed eseguire, naturalmente!) perché si possa raggiungere questo scopo?

Il computer ha un suo linguaggio fatto di codici formati di 0 e 1 che specificano operazioni spesso semplici, ma sempre molto legate al particolare tipo di calcolatore: ad esempio, un *Commodore* e uno *Spectrum* non si capirebbero proprio, se si parlassero nel loro "linguaggio di macchina". Nonostante queste differenze, però, ci sono dei tipi di istruzioni di macchina assolutamente indispensabili a un qualsiasi computer.

La prima persona che fece un elenco di queste "famiglie di istruzioni" fu John von Neumann, che si chiese: cosa pretendiamo, noi, da un computer?

Per cominciare, nella memoria possono esserci dei dati che vogliamo portare nell'unità aritmetica centrale per poi utilizzarli in qualche operazione: oppure vogliamo riscrivere nella memoria i nostri risultati. Ci occorrono delle "istruzioni di trasferimento", che facciano viaggiare i numeri attraverso il computer. Ma ci sono dei trasferimenti molto speciali: capita che il computer debba "leggere" qualcosa da una tastiera, per esempio, oppure che debba scrivere qualcos'altro su uno schermo video. Queste sono delle istruzioni "di ingresso" (i dati entrano nel computer) e "di uscita" (i risultati escono dal computer).

Poi, come si sa, ci aspettiamo che il computer sappia fare delle operazioni aritmetiche, e magari anche delle operazioni dell'algebra di Boole. Saranno le "istruzioni aritmetiche e logiche".

Nelle caselle del Gioco dell'Oca troviamo anche scritto "torna indietro" oppure "salta in avanti": lo stesso succede nei programmi, dove possiamo dare quelle che si chiamano "istruzioni di salto". Ce ne sono di due tipi: si chiamano "salti incondizionati" e "salti condizionati". Che cosa vuol dire?

Un salto incondizionato è come quello del Gioco dell'Oca. Un salto condizionato, invece... be', supponiamo che in una casella del gioco sia scritto "se hai piú di venti punti salta alla casella 48, sennò continua il gioco dalla prossima casella". Sarebbe, appunto, un "salto condizionato". Com'è fatto il "codice" di un'istruzione, nella memoria del computer? Occorre prima di tutto che l'istruzione specifichi l'operazione che si vuol fare (il "codice operativo"), e poi deve dire su quali operandi si vuole lavorare. Normalmente, in un'istruzione conviene scrivere non il *valore* dei dati su cui vogliamo che la macchina lavori, ma piuttosto l'*indirizzo* delle parole di memoria dove si trovano i dati: è la cosa piú sensata, se non vogliamo riscrivere il programma ogni volta che cambiamo il valore dei dati!

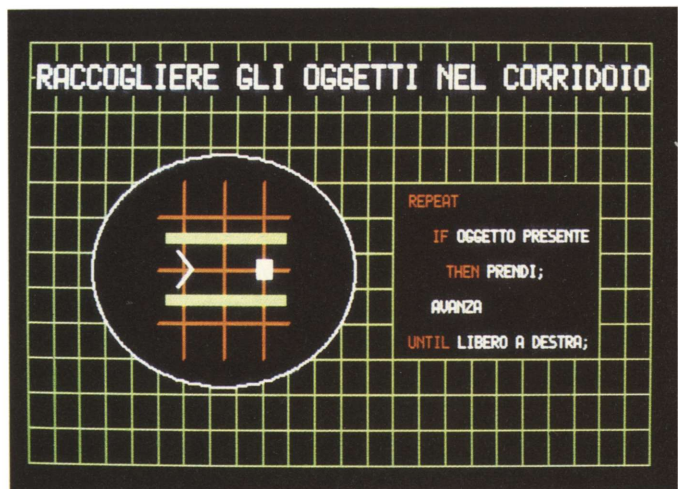
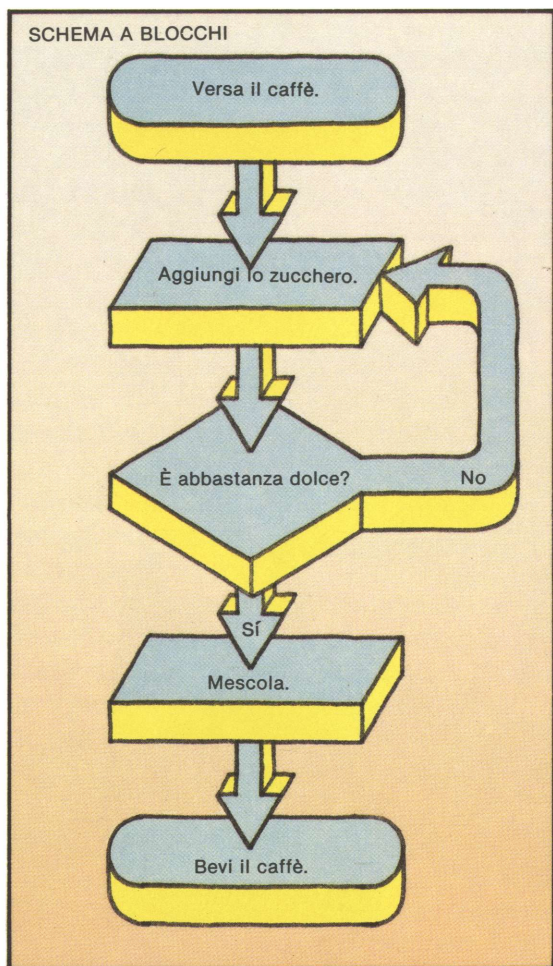
Ai tempi eroici dei calcolatori – nel 1950 o giú di lí – chi li programmava doveva proprio scrivere istruzione per istruzione a furia di 0 e 1: un lavoro che richiedeva una pazienza da certosino e in cui era spaventosamente facile fare un errore che mandava all'aria la fatica di giorni. Presto, qualcuno ebbe l'idea di "tradurre" le file di 0 e 1 con dei simboli che avessero qualche significato anche per chi scriveva il programma: si sarebbe trattato di scrivere ADD invece, che so, di "001", e cosí via. I nomi simbolici che si cominciarono a dare alle istruzioni furono fin da allora delle parole inglesi (o magari loro abbreviazioni): e l'uso è rimasto anche oggi.

Cosí un'operazione come "porta nell'unità aritmetica il numero registrato all'indirizzo 257; somma quello scritto all'indirizzo 435, e scrivi il risultato all'indirizzo 512", diventa:

LOAD 257
ADD 435
STORE 512

Sopra: sulla torre di Babele si arrampicano i linguaggi dei calcolatori: ADA, in vetta, è... l'ultima arrivata, mentre FORTRAN, COBOL e cosí via sono qui da trent'anni o quasi.
A destra: oggi si usa il computer anche... per imparare a usare il computer: questa è proprio una "lezione" del genere.

(LOAD significa "carica", e STORE vuol dire "deposita", e naturalmente ADD vuol dire "somma"). Su un computer reale troverete dei nomi simbolici un po' diversi, ma non *troppo* diversi!

Un linguaggio di questo genere si chiama col nome inglese di "assem-

Se volete, potete divertirvi a fare lo schema a blocchi delle vostre azioni quotidiane: preparare la cartella dei libri per andare a scuola, studiare la lezione per domani, magari anche preparare il caffè, come in questo esempio.

bler" (che quindi indica un qualunque linguaggio simbolico che traduce immediatamente il linguaggio di una macchina, istruzione per istruzione). Ogni volta che ne utilizziamo uno, dobbiamo conoscere molto bene la macchina per cui è stato ideato: sapere come è fatta e quali operazioni è capace di compiere. Se il problema è appena un poco piú complicato della semplice somma, tradurre il nostro ragionamento in un programma è difficile quasi quanto lo sarebbe se usassimo proprio il linguaggio di macchina; e sebbene si utilizzino degli schemi che ci aiutano a fare questa traduzione – cose come i famosi "diagrammi a flusso" o "schemi a blocchi" che vedete nell'illustrazione qui a fianco – le cose restano non poco complicate.

Passato il primo entusiasmo per il nuovo giocattolo, gli scienziati si chiesero se era proprio necessario usare un linguaggio tanto simile a quello del computer. Dopo tutto, nemmeno l'assembler può essere immediatamente capito dalla macchina: occorre un programma che le permetta di tradurre i nomi simbolici nelle famose file di 0 e 1. E per di piú, un programma in assembler va bene solo per un particolare tipo di computer: se cambiamo macchina, dobbiamo ricominciare tutto da capo... Perché non inventare dei linguaggi appositi, uguali per tutti i calcolatori, che permettano di descrivere le operazioni in una maniera un poco piú semplice e significativa per l'uomo? Dei linguaggi, naturalmente, che possano poi essere tradotti da programmi speciali nel particolare linguaggio di macchina che ci serve: dei "linguaggi di alto livello".

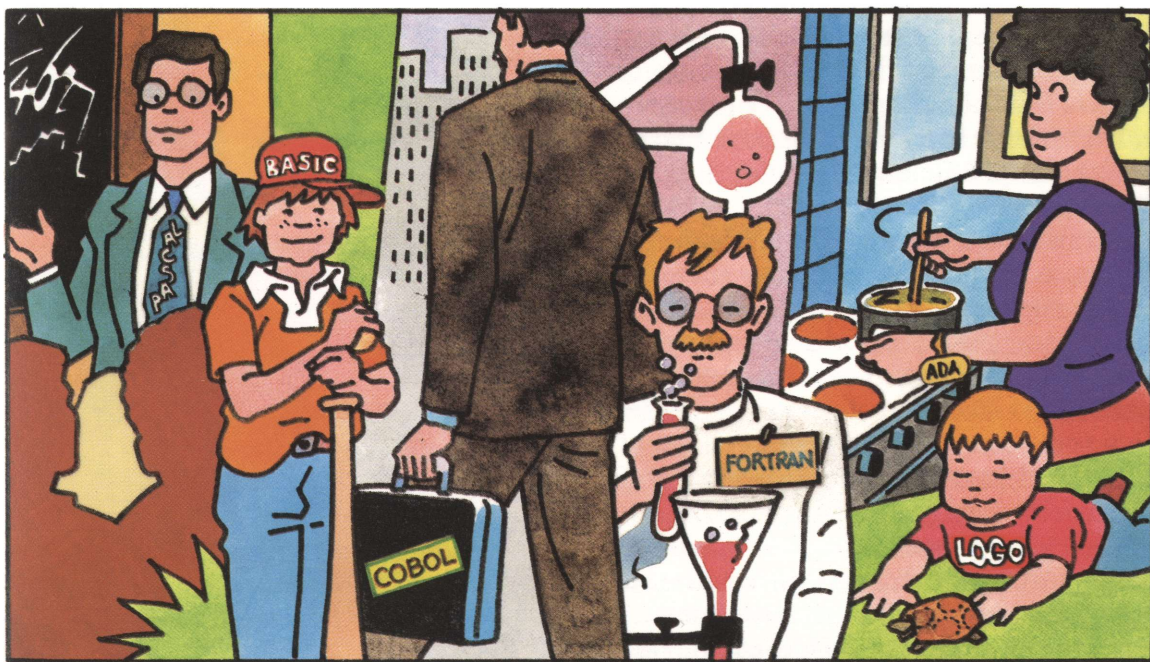
Dato che i primi problemi affrontati col computer erano problemi matematici, anche il primo linguaggio ideato fu di tipo matematico: si chiamava FORTRAN – anzi, si *chiama* FORTRAN. Lo si usa ampiamente ancor oggi, a piú di trent'anni dalla sua nascita. FORTRAN significa "traduttore di formule" (FORmula TRANslator, in inglese).

Quando si usa il FORTRAN (o un altro linguaggio di alto livello), non occorre piú conoscere gli indirizzi delle variabili o delle istruzioni: anzi, non è possibile conoscerli. Un'istruzione in FORTRAN può corrispondere anche a molte istruzioni di macchina, o magari a nessuna, perché serve solo a informare il programma traduttore (che si chiama "compilatore") di una qualche particolare azione che deve intraprendere, come ad esempio riservare delle parole di

memoria per specifiche variabili, e cose simili. Dovremo quindi dare dei nomi simbolici alle variabili, nomi che possiamo inventare noi, con qualche limitazione per quanto riguarda la loro forma: e daremo dei numeri, altrettanto arbitrari, alle istruzioni che vogliamo identificare in modo particolare. Cosí, la nostra somma diventa semplicemente $A = B + C$ se abbiamo chiamato B e C i due addendi, e se poi ricordiamo che il risultato si chiama A. Facile!

Il guaio è che non tutti devono scrivere programmi per fare calcoli matematici, anzi, se si fanno un paio di statistiche si scopre che la maggior parte dei programmi non si occupano affatto di calcoli matematici! Tutte le applicazioni "d'affari" non fanno calcoli veri e propri – o se li fanno sono molto semplici – ma in cambio devono trattare grandi e complicati archivi, registrati su nastri magnetici o su dischi: e le informazioni scritte negli archivi molto spesso non sono dei numeri, ma cose come il nome del cliente, il suo indirizzo, l'elenco dei suoi ordini e via di questo passo. Pochi anni dopo la nascita del FORTRAN, una commissione di esperti del governo americano inventò un nuovo linguaggio che chiamò COBOL: la solita sigla, che in questo caso vuol dire piú o meno "linguaggio specializzato per gli affari". E, dato che le applicazioni di tipo aziendale sono numerose e importanti, il COBOL è diventato forse il linguaggio piú diffuso... almeno fino alla comparsa dei microcomputer.

Nel frattempo, i linguaggi per calcolatori cominciarono a moltiplicarsi a gran velocità. Gli esperti avevano inventato un linguaggio piú "elegante" del FORTRAN: lo chiamarono ALGOL. Gli inglesi, da buoni isolani, avevano tutta una famiglia di loro linguaggi locali. In Francia, per qualche tempo, si tentò di creare linguaggi per calcolatori che usassero parole francesi, anziché inglesi. Studiosi che si occupavano di pro-

I "linguaggi" dei calcolatori sono tutti un po' specializzati: PASCAL è un vero professore (lo si usa spesso per insegnare la programmazione), LOGO è nato per i bambini, mentre BASIC è popolare fra i ragazzi; COBOL si occupa di affari, FORTRAN dà una mano agli scienziati, e ADA... è una brillante signora che sa fare un po' di tutto!

blemi molto particolari idearono linguaggi specializzatissimi per risolverli. Insomma, un'autentica torre di Babele!

Ma, come capita fra i linguaggi umani, alcuni hanno avuto piú successo di altri. Prendiamo il BASIC, per esempio: quello che qualunque proprietario di home computer o di personal impara a usare. BASIC è, al solito, una sigla: vuol dire "linguaggio per principianti".

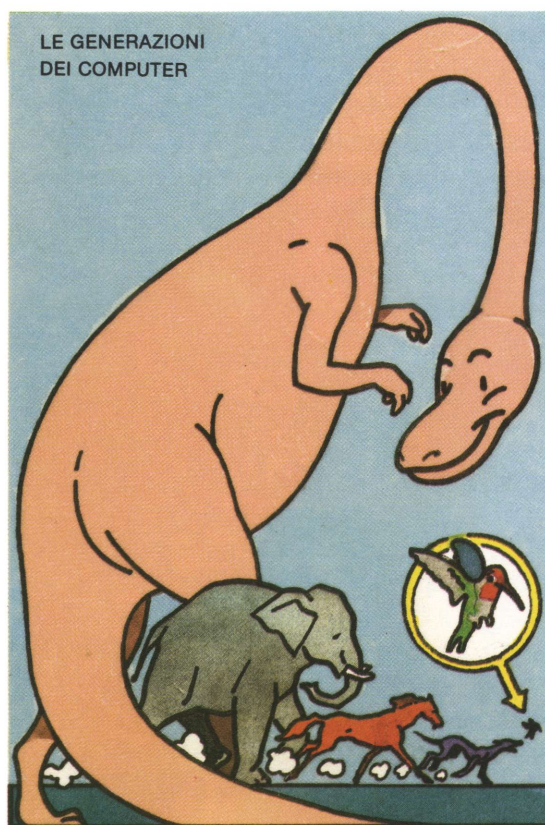
Poi c'è PASCAL: una volta tanto, non è una sigla, è proprio il nome del nostro vecchio amico Blaise Pascal. L'inventore del linguaggio – il professor Wirth, uno svizzero – decise di commemorare questo profeta dei computer. PASCAL piace molto agli studiosi. È relativamente semplice (come BASIC) e abbastanza facile da imparare: non per nulla viene utilizzato in moltissime scuole, in tutto il mondo. E, per di piú, costringe il programmatore a tutta una serie di controlli che limitano il numero e il tipo di errori che può commettere: un bel vantaggio, quando si pensa alla difficoltà di scovare gli errori in un programma!

Perché, già, all'inizio pareva che il problema piú grosso fosse scrivere un programma, ma poi si è scoperto che ancor piú difficile è scriverlo senza errori, e correggere gli errori se ci sono stati e magari modificarlo se, col passar del tempo, cambiano le nostre esigenze!

Il Pentagono decise di trovare una soluzione al problema. Un unico linguaggio universale. Progettato in modo da minimizzare le probabilità di fare degli errori, e comunque cosí che fosse poi facile rintracciare i bug e correggerli. Un linguaggio adatto a qualsiasi tipo di problema. Gli esperti passarono alcuni anni a inventarne uno che corrispondesse a tutte queste specifiche.

Come l'hanno chiamato? Ma, dopo tutto, ci vuole un po' di giustizia! Col nome della persona che aveva avuto la prima intuizione di quel che sarebbe stato un programma per un computer... il linguaggio si chiama ADA, ecco!

Mentre alcuni scienziati pensavano a linguaggi per problemi difficili – quelli che gli adulti considerano tali – altri studiosi pensavano a un linguaggio per i bambini. Un linguaggio, che permettesse ai bambini di dialogare col computer, e che permettesse loro di fare dei disegni. È LOGO: si "costruisce" l'immagine sullo schermo, poi, un'amichevole tartaruga esegue i nostri ordini... vogliamo fare un esempio? Disegniamo un quadrato (nulla di piú facile!); in LOGO, diciamo piú o meno cosí: "Per fare un quadrato si ripete quattro volte quel

Sotto: confrontare i computer degli ultimi quaranta anni è come paragonare il mastodontico e lento dinosauro con il vivacissimo colibrí (passando, con le generazioni, dall'elefante al cavallo e al cane... sempre piú piccolo e piú veloce, insomma!).
A destra: nel 1950, il computer era ancora grande, misterioso e magari un po' antipatico, come nel vecchio film *Una segretaria quasi privata*, dove il computer fa una pessima figura...

che viene ora: si va avanti di cento passi e poi si gira a destra ad angolo retto (90 gradi)". Tutto qui.

Anzi, per usare il linguaggio esatto (che naturalmente viene dall'inglese), scriviamo:

```
TO SQUARE
REPEAT 4
FORWARD 100
RIGHT 90
END
```

(cercatevi un dizionario inglese: vedrete che abbiamo ripetuto esattamente quel che si è detto prima). Comodo, no?

La famiglia dei computer

Oramai, per i computer si potrebbe quasi fare un albero genealogico: un bell'alberone complicato, con tanti rami e rametti e ramoscelli. Gli esperti parlano abitualmente di "generazioni" e di "famiglie": cerchiamo di scoprire che cosa significano queste parole quando coinvolgono delle macchine.

Dunque, prima di tutto c'è la questione delle "generazioni": in una famiglia umana, si sa, ci sono bisnonni, nonni, genitori e figli... quattro generazioni, in questo caso. E per i calcolatori elettronici? La prima generazione, ovviamente, era quella delle primissime macchine, di *E.N.I.A.C.* e *E.D.V.A.C.* e *UNIVAC* e altre cose simili, quegli oggetti mostruosi che occupavano sale e sale piene di valvole termoioniche, cavi elettrici, lampadine rosse lampeggianti e via di questo passo. La prima generazione era talmente misteriosa che solo pochi scienziati sapevano bene di cosa si trattasse: e chi usava i computer erano militari impegnati in qualche complicatissimo problema di difesa, o fisici nucleari, o altre persone altrettanto poco familiari al grosso pubblico.

Nei laboratori di ricerca, intanto, si stava preparando la seconda generazio-

ne: i nuovi computer avrebbero sfruttato quelle novità della tecnica, il transistor, le memorie a nuclei magnetici, e poi i dischi magnetici e tutte le altre diavolerie che stavano nascendo in università come il celebre MIT (che poi sarebbe il *Massachusetts Institute of Technology*, qualcosa come il Politecnico del Massachusetts, a Boston).

Si era negli anni a cavallo fra il '50 e il '60: nel campo dei computer apparvero anche industrie che fino ad allora si erano occupate di tutt'altro genere di elettronica (come la Radio Corporation of America) e un'industria che pure aveva tardato un po' ad abbandonare i relé per i circuiti elettronici e le calcolatrici per i computer: l'IBM, che da quel momento, però, fece passi da gigante, fino a dominare il mercato dei computer nel mondo intero...

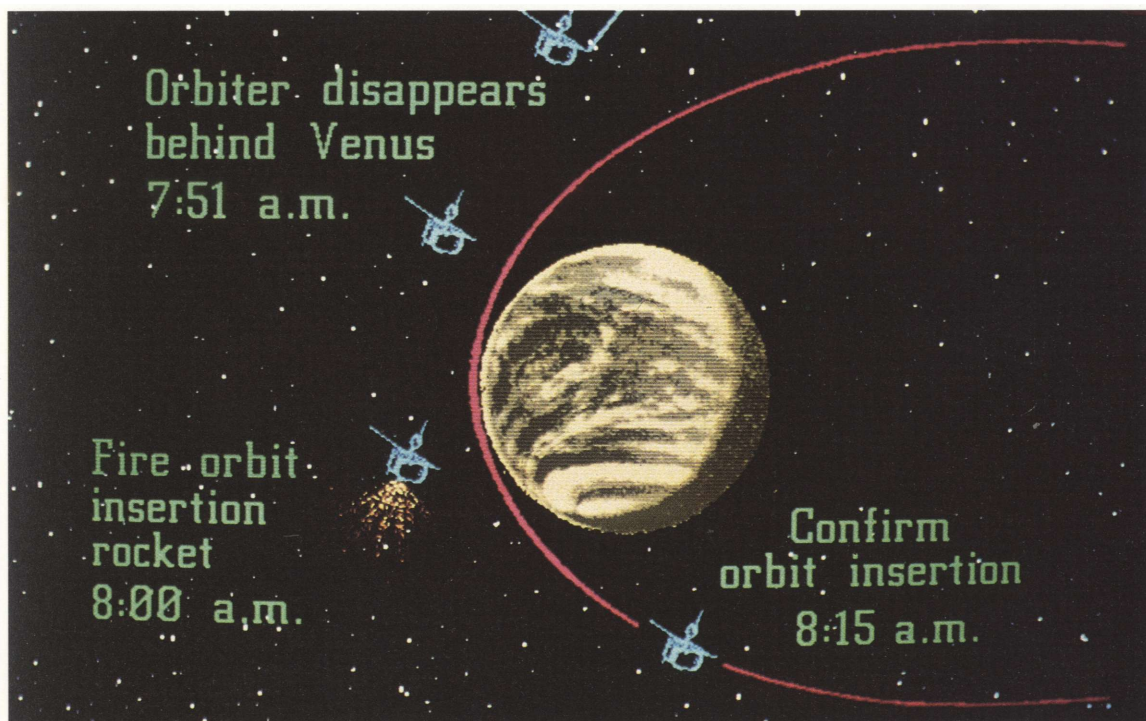
Dunque, la seconda generazione: pareva già un miracolo. Il transistor era duecento volte piú piccolo di una valvola e consumava cento volte meno energia. C'erano macchine specializzate per produrre "delle pastiglie" di metallo che potevano fabbricare decine di migliaia di nuclei magnetici in una sola ora.

Un disco magnetico del diametro di 67 centimetri permetteva di registrare ben cinquantamila "caratteri" su ogni facciata... (un carattere è un insieme di tanti bit quanti ne occorrono per fare il codice di un carattere sulla tastiera di un computer. Oggi, di solito, un carattere è lungo otto bit e viene chiamato byte). I confronti sono sempre odiosi, d'accordo, ma un moderno disco magnetico del diametro di 39 centimetri contiene 85 milioni di caratteri per facciata, e perfino un modesto floppy disk ne contiene mezzo milione per facciata... Comunque, la potenza della seconda generazione era già tanto grande da attirare ai computer un'incredibile quantità di clienti.

Comparvero i primi giganti: giganti non piú semplicemente per le dimensioni, ma per la capacità di lavoro, anzi, di "elaborazione". Nel 1961 venne installato lo *Stretch*, che con 150 000 transistor era il piú grande computer dell'epoca, capace di fare 100 miliardi di calcoli al giorno. Come succede anche oggi, i giganti erano quasi tutti nelle mani dei militari – servivano per fare complicatissimi calcoli sulle informazioni inviate dalle centrali radar sparse su tutto il territorio degli Stati Uniti, per studiare la disposizione migliore dei bombardieri e degli aerei da caccia nelle varie basi (o

Sopra: nel 1964 iniziarono i voli di collaudo del razzo *Saturno*, quello che, cinque anni dopo, avrebbe portato i primi uomini sulla Luna. I voli furono simulati sui piú grandi computer dell'epoca, che, calcolando alla perfezione tutti i dettagli, garantirono il ritorno a Terra degli equipaggi.
A destra: oggi, studi dello stesso tipo si fanno per i voli interplanetari, ad esempio, verso Venere.

anche in volo) – insomma, come sempre succede in un esercito, servivano per tenersi pronti a una guerra, probabile o improbabile che fosse.

Contemporaneamente, però, erano anche comparsi i computer di serie: un cliente poteva tranquillamente andare in un ufficio commerciale della IBM e ordinare un *1401* o un *7090* come avrebbe ordinato una qualsiasi altra macchina. Gli scienziati avevano inventato dei nuovi linguaggi per lavorare coi computer, molto piú facili da usare di quei complicatissimi linguaggi di macchina (be', facili... tutto è relativo, si sa!): programmare diventava un compito piú accessibile all'uomo medio, e bruscamente si scoprí tutta una nuova serie di usi per il computer. Oh, certo, si continuava ad averne bisogno per fare complicati calcoli scientifici: ma le aziende si accorsero che col computer era molto piú facile tenere la contabilità, calcolare paghe e stipendi, organizzare vendite e acquisti. Insomma, si scoprirono le applicazioni nel mondo degli affari. E nel

Sopra: quando fate un viaggio in aereo, Amico Bit vi ha preparato la strada: ha fatto le prenotazioni, controllato le coincidenze, avvertito le agenzie di non "rubarvi" il posto... e magari se ne sta anche a bordo per dare una mano al pilota!
A fronte: la NASA ha una serie di "stazioni" sparse nel mondo che raccolgono informazioni e le inviano a due o tre grandi centri – quello di Cape Canaveral, quello di Goddard presso Washington, il Centro di Houston – dove i calcolatori seguono continuamente le missioni spaziali.

1962 una compagnia aerea, l'American Airlines, fece qualcosa di rivoluzionario: affidò al computer le prenotazioni sui suoi aerei!

Non vi sembra una cosa tanto strana? Eppure con quel "sistema SABRE" (era il nome di quel sistema di prenotazioni) nacque un'idea assolutamente nuova: quella del "tempo reale".

Con i computer scientifici, quel che succedeva di solito era che lo scienziato portava al centro di calcolo il suo programma, perforato su un gran pacco di schede: poi un impiegato specializzato, un "operatore", faceva leggere le schede al computer che finalmente – quando aveva finito tutti i lavori che erano arrivati prima ed erano stati messi in coda – cominciava a fare quel che voleva il nostro scienziato. Il quale doveva aspettare un bel po' prima di ottenere i suoi risultati: naturalmente, tutto dipendeva dalla coda di clienti! È chiaro che per prenotare un posto sull'aereo questo metodo non funzionava proprio: nessuno è disposto a sentirsi rispondere "torni domani per sapere se c'è posto". Occorre poter interrogare il computer chiedendo "ci sono posti sul volo per Parigi delle 11.20 di martedí prossimo?", e occorre che il computer risponda sí oppure no nel giro di pochi secondi: in "tempo reale", nel tempo in cui il cliente è davanti al banco delle prenotazioni. E poi la macchina deve subito scrivere nella propria memoria che il signor John Brown e sua moglie hanno prenotato i due famosi posti, e cosí via...

Già, ma non c'è un'agenzia soltanto dove si può andare per fare le prenotazioni: l'American Airlines aveva centinaia, migliaia di agenzie sparse in tutta

la nazione! Come fare perché il computer, sistemato nel suo centro di calcolo, sapesse delle prenotazioni fatte a San Francisco e di quelle fatte a New York? Ecco un'altra novità: una "rete".

In ogni agenzia c'erano dei "terminali": oh, non quegli oggetti con lo schermo televisivo ammiccante che siamo abituati a vedere oggi nelle banche e un po' dovunque. Allora erano piuttosto simili a delle telescriventi: ma tutti erano collegati al computer con una loro linea telefonica; oramai, sulla rete telefonica non viaggiavano piú solo voci e suoni, ma anche silenziosi bit...

La seconda generazione: senza quelle macchine non ci sarebbero stati i primi voli umani nello spazio. Tutte le operazioni dei lanci e dei voli vennero studiate, ripetute, "simulate" migliaia di volte dai computer, prima che il razzo si staccasse da terra: solo cosí fu possibile avere una ragionevole certezza che le missioni spaziali avrebbero avuto successo. Sarebbe diventata un'operazione abituale, quella di simulare i momenti pericolosi facendoli "ricostruire" da un computer, il quale calcola tutte le situazioni che potrebbero verificarsi, anche le piú catastrofiche, e verifica quel che si deve fare per superarle.

Arriviamo cosí alla metà degli Anni Sessanta: 1965 o giú di lí. Compaiono i primi circuiti integrati. La "potenza di calcolo" cresce: i circuiti elettronici sono capaci di fare operazioni piú complesse in minor tempo, e costano sempre meno. Nasce la terza generazione.

E con la terza generazione arrivano altre novità. Per cominciare, ecco i primi "minicomputer": calcolatori elettronici "piccoli" – grandi quanto un picco-

lo armadio, ai tempi in cui per un computer normale occorreva una sala bella grande - che costavano poco (diciamo, poche decine di migliaia di dollari, un decimo di quel che costava un computer grosso), che potevano lavorare anche in un angolo del laboratorio, o in un ufficio (nei veri centri di calcolo si doveva usare l'aria condizionata perché il computer aveva esigenze molto raffinate quanto a temperatura, umidità e via dicendo). Insomma, il minicomputer poteva essere usato da chiunque... o quanto meno da una quantità di persone che non avrebbero potuto permettersi un computer piú grosso. Forse fu la fine di un mito: nessuno avrebbe mai piú chiamato "cervello elettronico" quell'armadietto costellato di lampadine!

Visti con gli occhi di oggi, quei minicomputer erano scandalosamente rudimentali. Le operazioni che sapevano fare erano molto poche: e programmarli, di conseguenza, era tutt'altro che facile. Avevano una memoria proprio piccolina. Per tanti versi, sembravano quasi un passo indietro rispetto ai loro fratelli piú grandi: ma ciononostante conqui-

starono un nuovo mondo. Era possibile inserire un minicomputer nell'impianto per caricare le autobotti in una raffineria petrolifera, ad esempio: la macchina controllava il carico, faceva tutti i conti, preparava le fatture, tutto molto piú in fretta di un uomo! E anche se c'erano in giro dei gas poco salutari, in un impianto automatico quei gas non facevano male a nessuno... E poi, per esempio, si poteva nascondere un minicomputer dietro il quadro degli arrivi e delle partenze in un aeroporto, e farglielo comandare direttamente: tutto molto piú velocemente che con i vecchi sistemi manuali. E visto che oramai le missioni spaziali erano realtà, i minicomputer erano abbastanza mini da essere piazzati a bordo di un'astronave e trasformarsi né piú né meno che in una parte della strumentazione di bordo, come il quadrante che segnava la pressione dell'ossigeno o la radio ricetrasmittente. Ecco, grazie al mini, il computer diventava uno strumento come tanti altri che l'uomo aveva già a disposizione.

Un'immagine molto pittorica a rappresentazione dell'"esplosione" dell'informatica: perfino i cartelli all'angolo delle strade, quelli che indicano la direzione per l'albergo, sono piantati... dentro un computer. Scherzi a parte, i semafori sono controllati da computer... e in alcune catene americane di ristoranti si controlla col computer la qualità degli hamburger!

Con la terza generazione nacque anche un'altra specialità: nacquero le "famiglie" di computer. Com'era da prevedere, il lieto evento accadde in casa IBM: oramai, IBM e computer erano diventati quasi due sinonimi. Non per nulla, piú o meno in quegli anni, uno dei piú celebri film di fantascienza (*2001: Odissea nello spazio*) raccontava la saga di un curioso computer chiamato HAL... che c'entra? Ma provate a pensare all'alfabeto: qual è la lettera che viene subito dopo la H? E dopo la A? E dopo la L...

Dunque, si parlava di famiglie. In una famiglia, si sa, ci sono membri piú grandi e altri piú piccoli: ma tutti hanno qualcosa in comune, tutti hanno una qualche rassomiglianza. Seduti intorno al tavolo da pranzo, nonni e nipoti si condividono scherzi, battute, ricordi, tutto un linguaggio...

Ecco il segreto. In una famiglia di computer, c'è un linguaggio di macchina comune. Di solito, lo si è già detto, il linguaggio di macchina è caratteristico di un particolare tipo di computer: se avete scritto un programma nel linguaggio di macchina, poniamo, di un com-

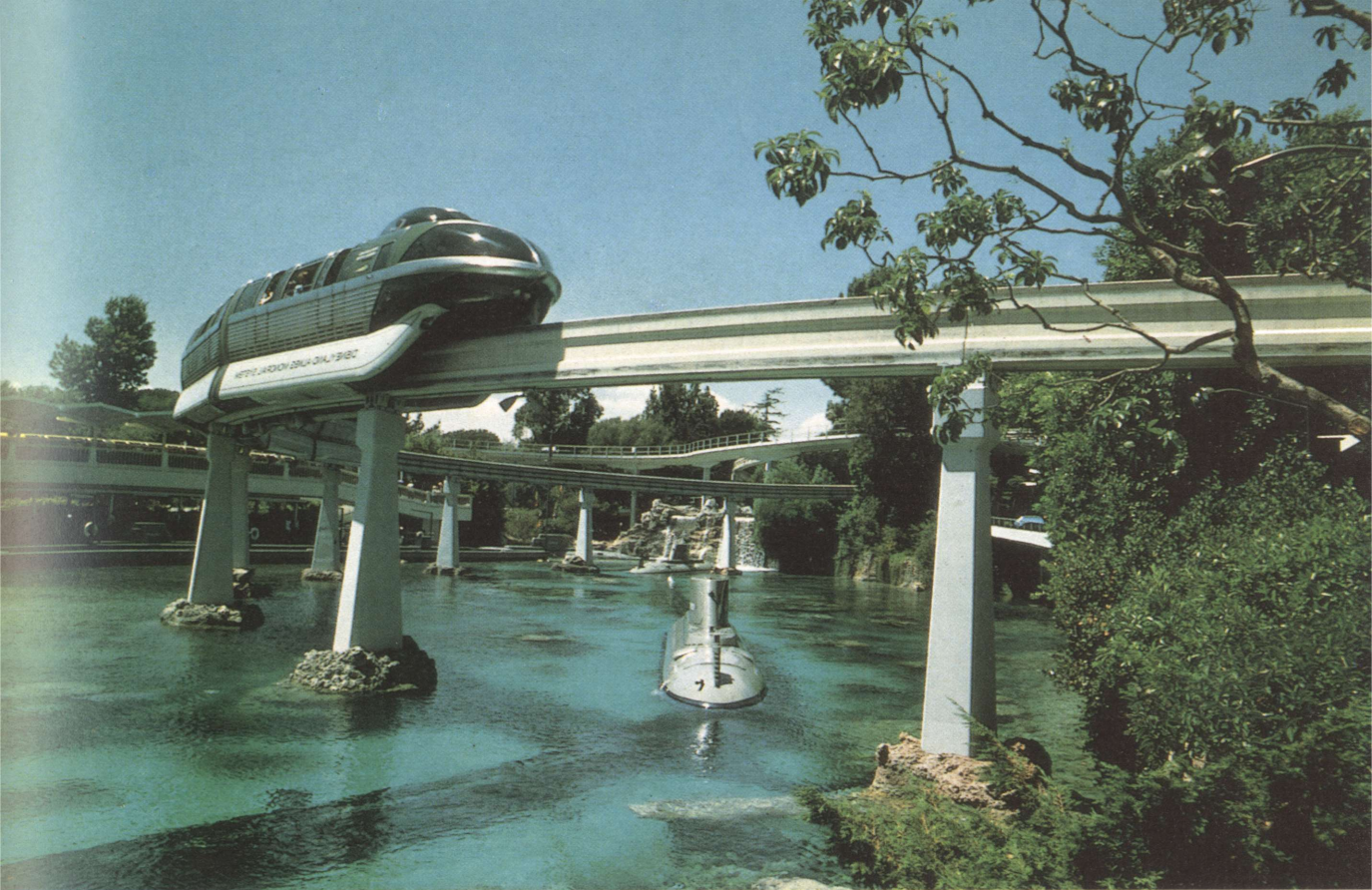
puter Olivetti, di sicuro quel programma non vorrà dir nulla per un computer Honeywell. Come potete immaginare, questo diventa un bel problema se avete scritto una quantità di programmi per il computer Tizio e improvvisamente decidete di cambiare macchina e comperare il computer Caio; potete avere un sacco di buone ragioni per farlo: vi occorre un calcolatore piú potente, piú veloce, oppure il vecchio macchinario oramai funziona male, non c'è piú nessuno capace di aggiustarvelo... ma se avete un armadio pieno di programmi in linguaggio di macchina, la semplice idea di cambiare vi fa venire l'itterizia!

Sotto: una *BMW 1000*. Nella quarta generazione, grazie al chip, il computer è entrato in centomila prodotti. Sulle auto e sulle moto per esempio, dove si occupa di comandare il motore, cambiare marcia e fare molte altre cose.
A fronte: il "mondo al computer" piú perfetto è certamente Epcot, l'ultimo mondo della fantasia di Disney: questo trenino monorotaia è completamente controllato dal computer, che si occupa di contare i passeggeri, chiudere e aprire le porte, accelerare, rallentare, frenare...

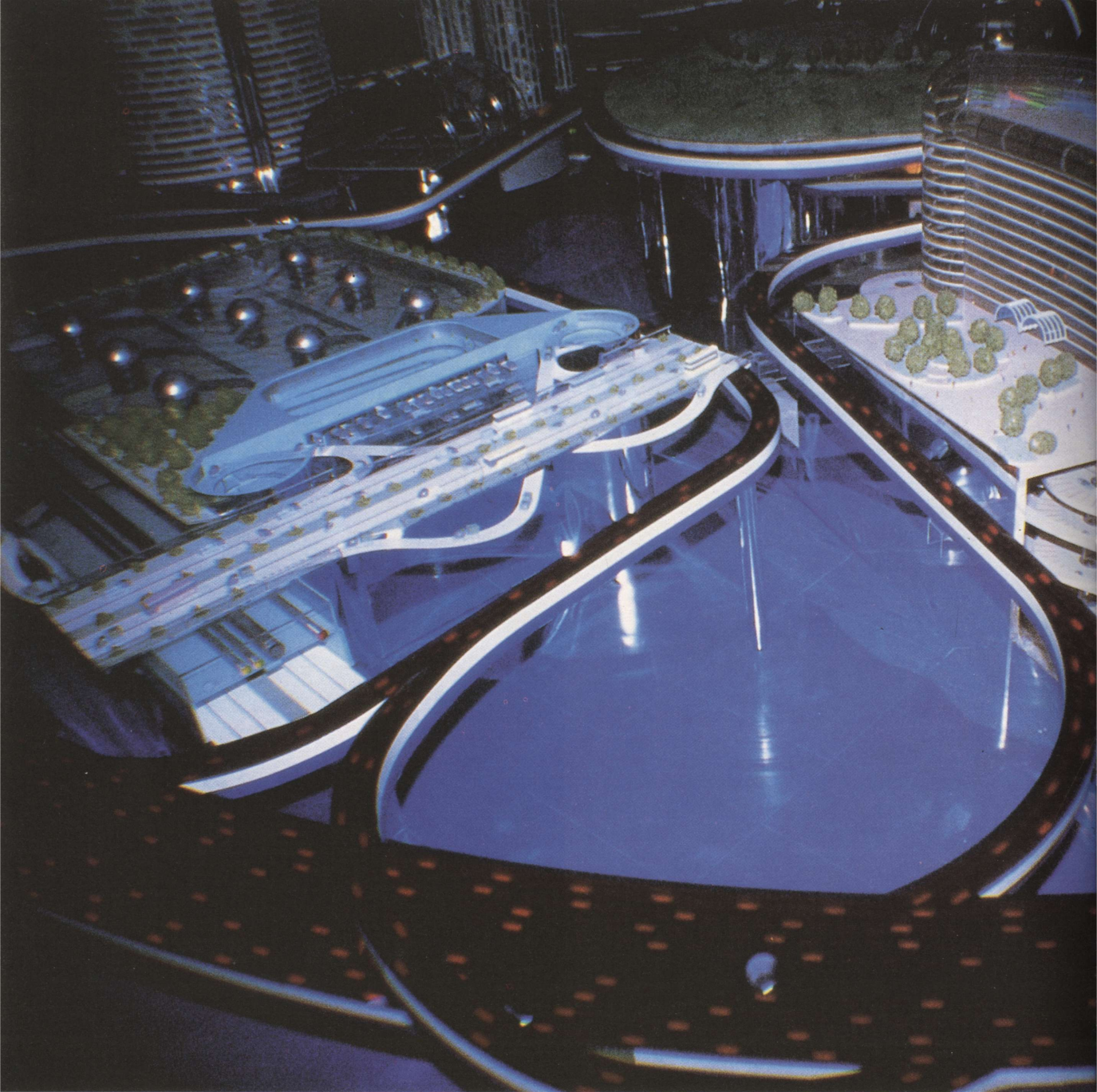
Ma c'è la famiglia. Fatta di computer piccoli e altri piú grandi o magari grandissimi: macchine molto diverse l'una dall'altra per il costo, per la velocità con cui fanno i calcoli, diverse anche le operazioni che i singoli circuiti sono capaci di fare. Tutti, però, hanno in comune un linguaggio di macchina; tutti capiscono le stesse istruzioni, anche se naturalmente impiegheranno un tempo diverso per eseguirle. Come in una famiglia umana, dove tutti capiscono cosa significa, ad esempio, "la capitale dell'Inghilterra", solo che il ragazzino di terza elementare deve dare un'occhiata al libro di scuola per scoprire che si parla di Londra, mentre papà ricorda benissimo che Londra è una città piena di nebbia!

Fra famiglie e minicomputer, la terza generazione conquistò pacificamente il mondo. Com'è facile immaginare, oramai all'orizzonte stava spuntando la quarta generazione... Che è quella con cui lavoriamo oggi, ogni giorno, ogni momento, magari senza accorgercene!

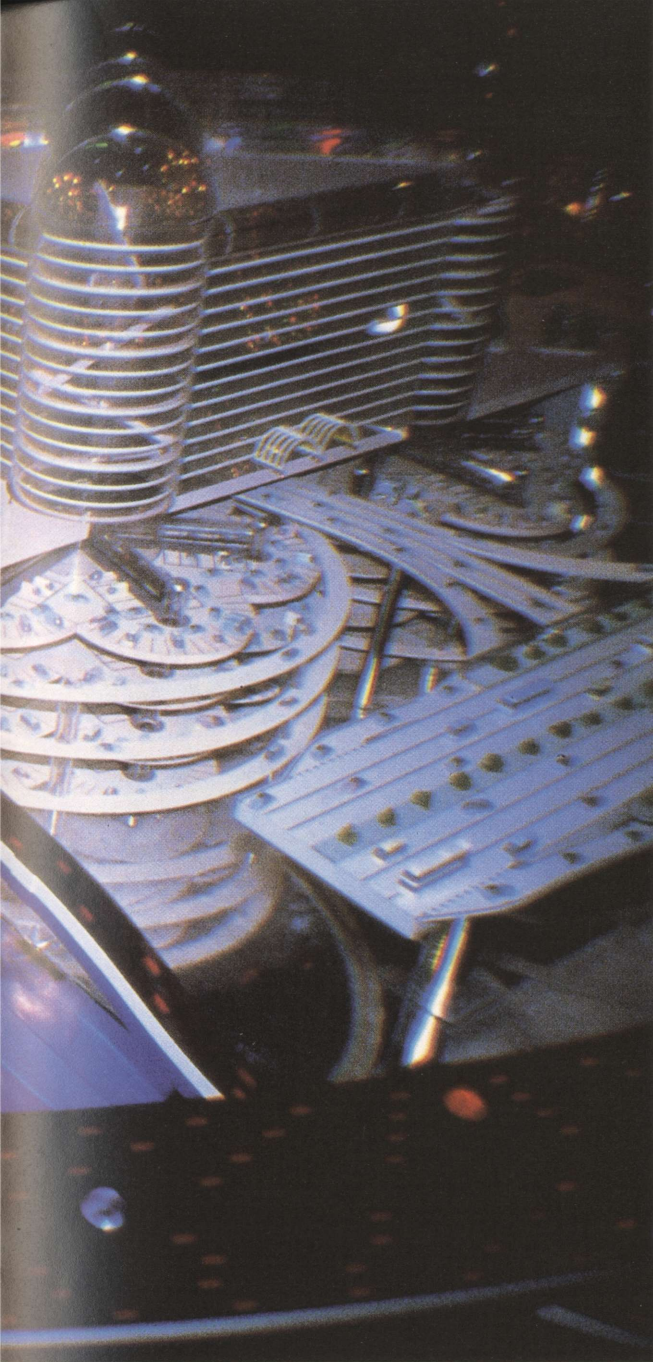
Il buon Charles Darwin, se fosse vivo oggi, scriverebbe un libro "Sull'origine della specie dei computer". Un tempo c'erano i mostri: erano lenti, enormi, specializzatissimi, ma da loro discende tutta la miriade di computer d'ogni razza e tipo che popola la Terra. Ci sono i supercomputer che esplorano i cieli per predire il tempo o per controllare tutti gli strani oggetti, missili o satelliti, che lo attraversano. Ci sono i microcomputer con cui giocano i ragazzi. Ci sono quelli rintanati nella lavatrice di casa e quelli che comandano gli aerei supersonici. Computer che parlano, che vedono, che ascoltano... che cos'è, insomma, questa quarta generazione?

Probabilmente, in comune fra tutte queste macchine c'è solo il chip: uno di quei fenomenali circuiti integrati capaci

di ricordare un'incredibile quantità di informazioni, di eseguire centinaia di migliaia di operazioni al secondo, di scambiare dati a grandissima velocità con altri chip. Oramai, siamo nell'era del "sempre piú piccolo"! E, come sempre capita, ciò che è piccolo, maneggevole e costa poco, diventa anche familiare... ecco i computer domestici, gli home computer, quelli che costano meno di un televisore e sono disposti anche a giocare, oltre che a fare i compiti di scuola o i conti di casa. Di colpo, "computer" non fa piú pensare a specialisti in camice bianco!

Naturalmente, gli specialisti in camice bianco ci sono ancora, e ci sono i supercomputer incredibilmente potenti, quelli che fanno 100 milioni e piú di operazioni in un secondo. Ricordate quello *Stretch* che nel lontano 1961 faceva cento miliardi di operazioni in un giorno? Oggi, i suoi discendenti se la cavano con gli stessi compiti in venti minuti... state pur certi che i supercomputer moderni non stanno inattivi per le altre ventitré ore e mezzo del giorno: ci hanno pensato gli uomini, a trovare dell'altro lavoro da fare! La storia del calcolatore elettronico sembra quella del serpente che si mangia la coda: c'è una macchina che sa fare certe cose, e allora l'uomo studia dei problemi in modo che la macchina possa risolverli, e a questo punto scopre che occorrerebbe una macchina piú potente o meno costosa, e quando ha la nuova macchina gli vengono in mente anche nuovi modi di usarla per risolvere nuovi problemi ancora... e cosí via, all'infinito.

Forse che trent'anni fa qualcuno avrebbe mai pensato di usare un computer a bordo di una motocicletta? Nemmeno un pazzo avrebbe sognato qualcosa di simile... oggi sono in commercio delle moto su cui *diversi* microcomputer controllano il buon funzionamento del motore, dei freni e cosí via. E

sebbene la parola "robot" sia stata inventata da un romanziere molti anni prima che comparissero i computer, si è dovuta aspettare la quarta generazione perché i robot uscissero dai romanzi di fantascienza per entrare (ma davvero!) nelle fabbriche. Vogliamo cercare di fare un elenco dei motivi per cui i computer hanno tanta fortuna?

– Per cominciare, ci sono dei computer che costano molto poco: chiunque può permetterseli, e possiamo benissimo usarli per costruire o per comandare delle altre macchine poco costose: ecco il computer nella lavastoviglie...

– Ah, già, i circuiti sono molto piccoli; e consumano poca energia elettrica: naturale, non avremmo potuto mettere il povero vecchio *E.N.I.A.C.* in cucina a controllare il forno a microonde!

I giapponesi hanno lanciato la sfida della quinta generazione, e alla grande Esposizione Internazionale di Tsukuba hanno presentato il sogno di un mondo del futuro. Questo è il modello di una città del futuro organizzata su tanti piani collegati fra loro da ascensori, scale mobili e altri mezzi tutti controllati da infiniti computer...
Forse può valere la pena di ricordare che Leonardo da Vinci aveva già ideato una città del genere: oh, non c'erano certo automi o calcolatori, ma Leonardo prometteva già allora un traffico meno caotico, aria piú respirabile, e una vita piú piacevole!

– Sono molto veloci e (se possiamo permetterci il prezzo) nulla ci vieta di costruire computer complicatissimi e potentissimi: come quelli della NASA che seguono le sonde spaziali fin nello spazio profondo, al di là di Urano o di Plutone, raccogliendo i messaggi che giungono dallo spazio e inviando comandi per correggere la rotta dell'astronave o fare particolari applicazioni.
– Sono abbastanza facili da programmare... abbastanza perché una quantità di gente ci riesca, insomma (dopo tutto, nemmeno andare in bicicletta è una cosa banale, no? Eppure, quanti milioni di ciclisti ci sono, al mondo?).

Grazie alla quarta generazione, oggi si può parlare di automazione (cioè di esecuzione automatica di certi compiti, con macchine comandate da un computer) nelle fabbriche, negli uffici, sui treni: dappertutto. Anzi, ci sono fabbriche in cui dei robot costruiscono automaticamente... altri robot, è naturale!

Pensate che la storia finisca qui? Nemmeno per idea! Oggi gli scienziati giapponesi hanno lanciato una sfida ai loro colleghi nel resto del mondo, e tutti insieme stanno studiando come dovranno essere i computer della quinta generazione. L'unica cosa che si può dire fin d'oggi è che saranno diversi da quelli che abbiamo conosciuto...

Il computer della quinta generazione sarà piú piccolo, piú veloce, piú potente... tutte queste cose non ci stupiscono. Ma, soprattutto, sarà "intelligente": che cosa vuol dire?

Un calcolatore elettronico, oggi, assomiglia ancora molto a quella famosa macchina di von Neumann inventata piú di quaranta anni fa. Per cercare delle informazioni registrate nella memoria, dobbiamo scrivere dei programmi molto precisi che esplorino i dati descritti inizialmente: se vogliamo prenotare un aereo da Parigi a Timbuctú, sarà necessario che le informazioni su quel volo siano state esplicitamente scritte

nella memoria del computer, prima, se poi non vogliamo sentirci rispondere "niente da fare"!

Il cervello di un uomo non funziona cosí, lo sappiamo benissimo: quando cerchiamo di ricordare qualcosa non frughiamo nella nostra memoria usando un indirizzo del neurone dove abbiamo registrato quel certo fatto, ma lavoriamo "per associazione". Vale a dire che diamo la caccia a un ricordo che "assomigli" a quel qualcosa che abbiamo in mente, che ci crei una "associazione di idee"; e poi, coi nostri ragionamenti, da tutto quello che conosciamo (e che ricordiamo) "deduciamo" un particolare risultato o un ragionamento.

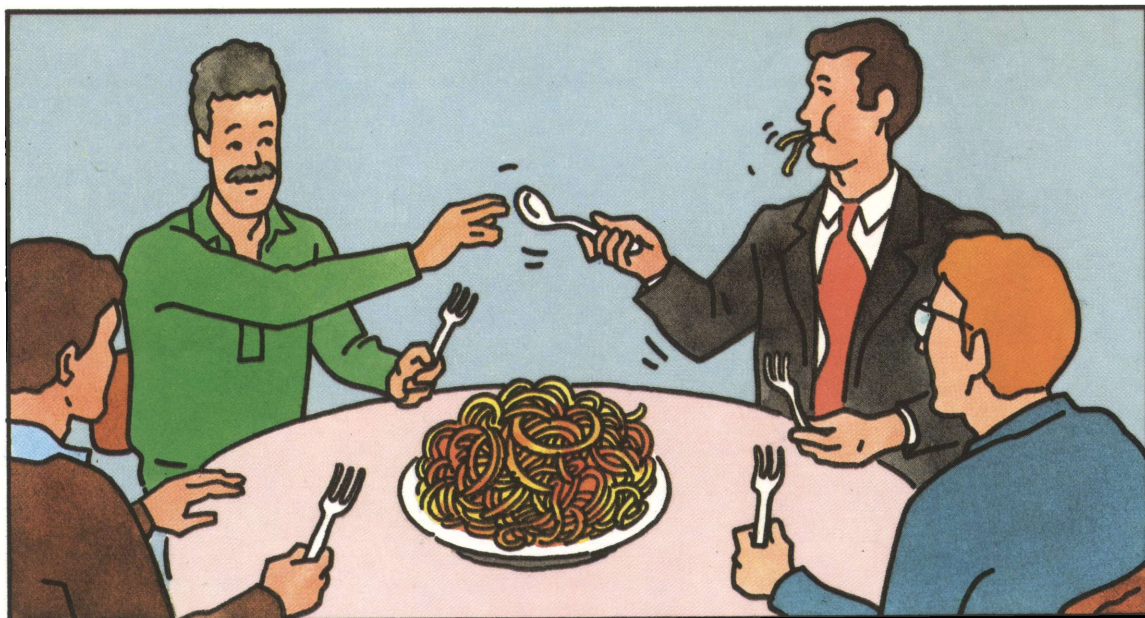
Il computer della quinta generazione funzionerà esattamente cosí. Certo, non possiamo pensare di duplicare la memoria e il cervello di un uomo, nemmeno quelli di un bambino: ma possiamo ricostruire la "base della conoscenza" (cioè l'insieme di tutte le informazioni che un po' alla volta abbiamo raccolto) almeno per quanto riguarda un particolare argomento. Se stiamo preparando un computer per fare le prenotazioni sugli aerei, la base della conoscenza riguarderà gli orari e le rotte degli aerei, le coincidenze, magari i problemi meteorologici nei vari aeroporti (neve, nebbia e cosí via). Se invece il computer è il cervello di un robot che costruisce automobili, nella base della conoscenza ci sarà tutto quel che riguarda la fabbrica e la costruzione delle automobili, cose del genere. Da questa base della conoscenza il computer sarà capace di "dedurre" dei risultati, se non proprio dei ragionamenti! Anzi, sarà addirittura capace di "apprendere" qualcosa da quello che sta facendo, e di aggiungere queste nuove informazioni alla base della conoscenza che già ha, insomma, sarà capace di diventare sempre piú potente mano a mano che ce ne serviamo.

Sarà capacissimo di suggerirci, per il nostro viaggio da Parigi a Timbuctú, le coincidenze migliori, e magari di ricordarci che nella stagione delle tempeste di sabbia potremmo trovarci nei guai per atterrare a Timbuctú; ma ci sarà anche il rischio (anzi, la probabilità) che poi alla guida dell'aereo, e alle prese con le tempeste di sabbia, ci sia... un altro computer della quinta generazione!

E se i computer faranno il lavoro degli uomini, che cosa faranno gli uomini? È chiaro: progetteranno i computer, li programmeranno, li comanderanno... e forse, chissà, troveranno il tempo per tante altre cose piacevoli. Per la natura. Per gli altri esseri umani...

Un sistema operativo è come... vediamo un po': come un regista cinematografico. Ha un certo insieme di "risorse" – attori, operatori, tecnico delle luci e via dicendo – e deve riuscire a farli lavorare, anzi, collaborare, tutti armoniosamente, in modo da ottenere il miglior risultato possibile.

Occorre il "sistema operativo"

Un computer può essere "nudo": nel gergo dei tecnici significa che avete la macchina – tutti i circuiti elettronici, i cavi, la tastiera e gli schermi video, i dischi e i nastri – ma che su quella macchina non c'è nemmeno una riga di programma. Avete quel che si chiama "hardware": in inglese *hardware* vorrebbe dire "ferramenta", e da solo un calcolatore è proprio soltanto un mucchio di ferraglia! Perché senza nemmeno una riga di programma, senza nulla di quel che si chiama "software", il computer non serve a niente... (anche *software* è una parola inglese, che però non esisteva prima dei computer: è stato inventato per analogia con la parola *hardware*, anzi, per contrapposizione: *ware* significa piú o meno "mercanzia", *hard* vuol dire

Sopra: qual è il problema dell'"accesso alle risorse"? Supponiamo che dei signori stiano intorno a un tavolo dove c'è un piatto di spaghetti: ognuno ha una forchetta, ma per mangiare gli occorre anche un cucchiaio. Se tutti insieme cercheranno di impadronirsi dell'unico cucchiaio sul tavolo, il risultato sarà una rissa... e nessuno mangerà. Occorre che qualcuno metta ordine, assegnando la "risorsa" (il cucchiaio) a turno a ognuno. Un sistema operativo fa proprio questo. A fronte: esempi di "comandi" di sistema operativo.

"duro"... i circuiti sono duri: i programmi invece sono... sono soffici, *soft*!)

I primi computer avevano solo i programmi preparati dagli utenti per le loro particolari applicazioni: il programma doveva essere scritto in modo che la macchina lo capisse subito, in modo che solo girando un interruttore contrassegnato con la parola ON e poi premendo un tasto marcato READ (cioè "leggi"), il computer cominciasse a leggere il nastro o le schede perforate, a seconda dei casi, e registrasse nella propria memoria tutto quel che stava leggendo. Alla fine, premendo un altro tasto GO (cioè "vai!") la macchina si metteva a eseguire il programma... fino a quando non trovava l'istruzione HALT, e allora si fermava.

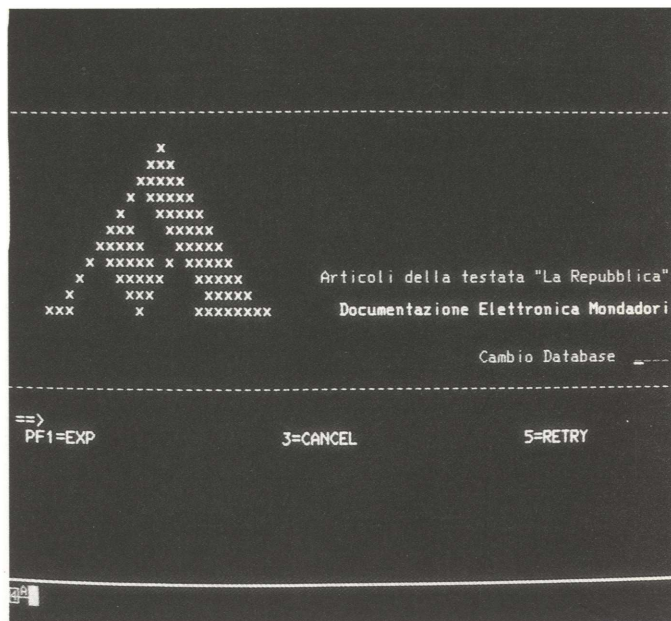
Naturalmente i guai cominciarono non appena i programmatori si misero a scrivere i loro programmi in linguaggi diversi da quello "personale" della macchina. Il lavoro diventava molto piú complicato: prima si doveva far leggere al computer il programma traduttore; poi gli si dava in pasto il programma scritto dall'utente, e il computer lo traduceva nel proprio linguaggio di macchina, e di solito lo scriveva perforandolo su un nuovo pacco di schede. Poi si doveva leggere il programma tradotto... insomma, una quantità di operazioni che si dovevano ordinare al computer premendo tasti, alzando e abbassando interruttori sul quadro di comando (che si chiama *console*, da leggere alla francese, "consòl"). Tutto questo richiedeva che davanti al computer ci fosse sempre un tecnico specializzato, un operatore, incaricato di fare questo particolare lavoro, e guai se qualcuno che non conosceva il computer altrettanto bene si azzardava a premere qualche tasto!

Per bravo che fosse l'operatore, tutte quelle operazioni sulla console portavano via un sacco di tempo: magari il programma veniva eseguito in pochissimi secondi, però erano necessari diversi mi-

nuti per predisporre la sua esecuzione... e qualcuno ebbe l'idea piú ovvia. Non poteva farle il computer stesso, tutte quelle operazioni preliminari?

Nacquero cosí i primi "sistemi operativi": quegli esemplari molto semplici, veramente, si chiamavano "monitor", proprio come quelli di cui sono dotati perfino i microcomputer piú a buon mercato. Un "monitor" era un programma che risiedeva sempre nella memoria del computer, e provvedeva a "gestire" la macchina secondo quel che gli si ordinava con speciali istruzioni. Era il monitor che si occupava di far leggere al computer un programma; il monitor che, grazie a un particolare comando, capiva in che linguaggio era scritto il programma dell'utente e che quindi "chiamava" dal disco o dal nastro magnetico il traduttore. Il monitor, infine, che predisponeva l'esecuzione e che al termine riprendeva il controllo della macchina. Ora il funzionamento del computer era veramente automatico, e molto piú veloce, naturalmente!

Che cos'altro può fare, un semplice monitor? Per esempio, può permettervi di scoprire se avete fatto un errore programmando: se vi aspettate un certo risultato nella cella di memoria numero 217, basta dire al monitor "leggi cosa c'è a quell'indirizzo" e subito scoprite se tutto è regolare. Se avete individuato l'istruzione sbagliata (ah, certo, dovete conoscere il linguaggio della macchina!) ordinate "modifica il contenuto della cella 425" (immaginiamo che l'errore sia là) e il monitor scrive il nuovo valore che gli date al posto di quello vecchio. O potete anche comandare "comincia a eseguire il programma a partire dall'indirizzo 63" e via dicendo.

E un sistema operativo vero e proprio, che cosa fa? È facile immaginare che si tratta di un programma notevolmente piú complicato, e che sa fare molte altre cose. Se ci sono tanti utenti che "fanno la coda" per usare il computer, il sistema operativo decide chi ha il diritto di passare per primo; è il sistema operativo che "sa" come "scrivere" sui dischi o sui nastri, riordinando le informazioni ed etichettandole in modo che dopo si riesca a rileggerle quando ne abbiano bisogno. È il sistema operativo che conosce il modo di trattare le unità d'ingresso e di uscita (quelle che complessivamente si chiamano "periferiche"). Di fatto, quando noi scriviamo un programma, una quantità delle istruzioni che diamo non sono altro che dei comandi, anzi, delle richieste d'aiuto, al sistema operativo!

Il sistema operativo ci semplifica la vita e, al tempo stesso, protegge il computer. Quando nello scrivere un programma per il nostro home computer decidiamo di registrare qualcosa su un dischetto, per esempio, noi ci limitiamo a dare un paio di semplici istruzioni: istruzioni che, una volta tradotte, diventano delle vere e proprie invocazioni d'aiuto al sistema operativo. Perché mai? C'è una serie di motivi.

– Il computer deve sapere dove scrivere e dove ritrovare, poi, quel che ha scritto: un dischetto può ospitare una quan-

tità di informazioni! Per questo c'è un programma che tiene un indice di quanto è scritto sul dischetto, che verifica se c'è ancora spazio, che mette in ordine gli indirizzi nell'indice eccetera. Se dovessimo scrivere noi tutte queste istruzioni nel nostro programma ci costerebbe una fatica... e chissà quanti errori!
- Le registrazioni vanno fatte in modo ordinato, proprio come quando si tiene un archivio, e scritte in una certa maniera standard. Una regola di questo genere ci aiuta, poi, quando dobbiamo cercare di rileggere quel che si è scritto! Il sistema operativo conosce alla perfezione queste regole.
- Può darsi che lo strato di materiale magnetico sul dischetto si sia rovinato in qualche punto: è necessario controllarlo ed eventualmente scrivere nell'indice che ci sono alcune zone del dischetto inutilizzabili... precisando di quali si tratta, è ovvio! Un altro lavoro di cui si incarica il sistema operativo...

È solo un esempio incompleto: eppure, vedete bene quanto può esserci utile questo speciale programma, e quanto lavoro può farci risparmiare!

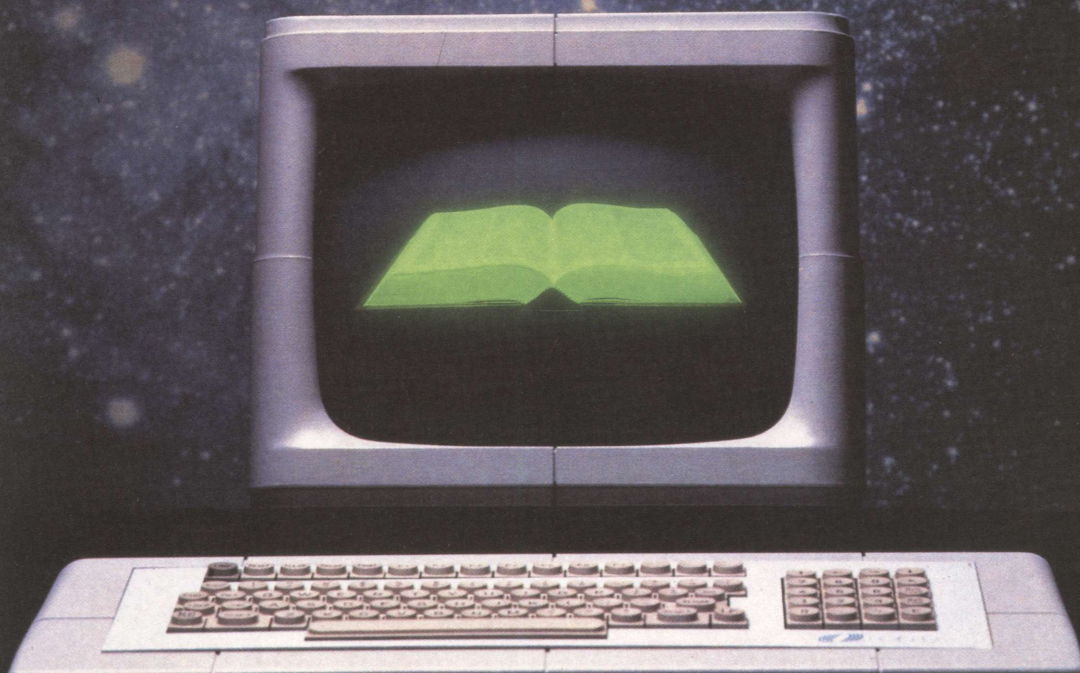
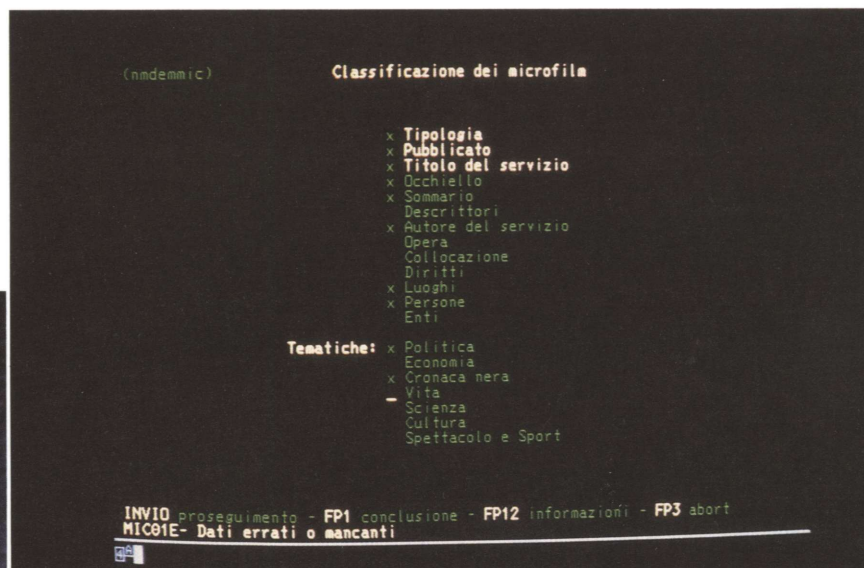
Il sistema operativo di un grosso computer può anche giocare dei trucchi, "illudere" gli utenti della macchina... non per imbrogliarli, intendiamoci! Si possono organizzare le cose in modo che tante persone diverse abbiano contemporaneamente l'impressione che il computer lavori proprio per loro: come si fa? Be', circa come fa una madre con tanti figli: prima dà ascolto a Carlo e comincia a preparargli la merenda, poi sbircia dietro le spalle di Anna per controllare se sta facendo il compito, mentre torna in cucina dà un'occhiata in soggiorno per assicurarsi che i gemelli non facciano malanni, finisce di preparare la merenda per Carlo, va ad aiutare Anna che ha bisogno di leggere il dizionario... insomma, dà ad ognuno una parte del suo tempo in modo che nessuno si senta abbandonato a se stesso. Esattamente quel che fa un sistema operativo "a suddivisione di tempo" (la definizione in inglese è *time sharing*): il computer esegue una parte del programma del signor A, poi lo ripone da parte e fa un po' di lavoro per il signor B, verifica se i dati che occorrono al signor C sono già arrivati... e, dato che è estremamente veloce, tutti i signori A, B e C sono convinti di avere avuto il computer a propria esclusiva disposizione!

Anche i computer specializzati - quelli che controllano il motore di un'auto, ad esempio, o magari una centrale nucleare, o anche semplicemente un videogioco - si comportano piú o meno nello stesso modo: devono eseguire tanti compiti (tecnicamente, si chiamano "processi") e il sistema operativo si occupa di fare in modo che il computer si dedichi ai vari compiti, per un po' di tempo a turno, interrompendone uno, magari, perché c'è qualcosa di piú urgente da fare, riprendendolo poi, assicurandosi che tutto funzioni bene...

Senza sistema operativo oggi non saremmo capaci di usare un computer. Per sicurezza (che cosa faremmo se per qualche incidente la nostra macchina "dimenticasse" tutto il sistema operativo?), per sicurezza, dunque, molti computer - compresi i personal computer e gli home computer - si tengono il nocciolo principale del sistema operativo in una di quelle memorie "a sola lettura" che non si possono cancellare: cosí non c'è il rischio che, magari per un'operazione mal fatta, ci ritroviamo in mano un mucchio di ferraglia sorda e muta...

Milioni di archivi

In fin dei conti, com'è fatto un archivio "all'antica"? Ci sono tante pratiche in cui sono scritte informazioni ben precise: i dati sui clienti di una banca, per esempio, con tutte le notizie sui loro conti correnti, oppure quelli sui dipen-

Un tempo, l'archivio di un giornale era un'immensa cantina piena di annate e annate di vecchi giornali, fra cui si doveva cercare una notizia sprecando tempo e pazienza. Oggi, anche questi archivi sono nella memoria di un computer, che può cercare la notizia in base a "chiavi" come l'autore dell'articolo, o magari il titolo, oppure anche l'argomento... e tutto in pochi secondi!

denti di un'azienda, con la loro carriera e il loro stipendio e informazioni simili. Centinaia o migliaia di schede oppure di cartelle piene di annotazioni, ordinate in modo che qualcuno, l'archivista, possa trovare rapidamente quanto gli interessa. In modo che possa leggere delle informazioni, oppure aggiornare la pratica, o magari anche fare delle statistiche tipo "quanti impiegati hanno piú di trent'anni" oppure "quanti clienti emettono piú di cento assegni ogni anno".

In pratica, si tratta di immagazzinare moltissime informazioni in modo da poterle cercare senza troppa difficoltà (cioè senza impiegarci una vita!), da poterle leggere e, piú raramente, anche aggiornare.

È chiaro che ben presto qualcuno si chiese "ma perché non provare a usare un computer?": dopo tutto, l'abbiamo visto, tutte le informazioni che possono essere scritte su un foglio di carta possono benissimo essere codificate per un computer ed essere registrate nella sua memoria, o, meglio ancora, nelle sue memorie di massa, su dei dischi o su dei nastri magnetici! Certo, questa volta il calcolatore non dovrà fare calcoli complicati: quello che sfruttiamo è la grandezza della sua memoria, la velocità nel leggere quanto c'è scritto, la capacità di compiere confronti rapidissimi.

Vogliamo vedere come sarà fatto un archivio piccolo, semplice, un archivio che tutti abbiamo in tasca? Proviamo a costruire sul computer un'agenda telefonica. Per ogni persona che conosciamo, scriviamo nell'agenda le stesse informazioni: il cognome, il nome, l'indirizzo, il numero telefonico. Tutte insieme, e per ognuno dei nostri conoscenti, queste informazioni formeranno un "record" nella memoria del computer: e tutti i record costituiscono un "file" (una parola inglese che si pronuncia "fàil" e che significa piú o meno "schedario").

A questo punto, per trovare il numero telefonico di Carlo Rossi noi andiamo alla ricerca del cognome sull'agen-

da: anche il computer fa lo stesso, il cognome ("Rossi", nel nostro caso) è la "chiave" con cui cerca il record nell'archivio. Quando lo trova, ce lo trascrive sullo schermo: se tutto quello che volevamo fare era leggere il numero telefonico, la cosa finisce qui. Ma potrebbe darsi che Carlo abbia cambiato casa: allora dovremo utilizzare un programma per modificare l'archivio. Oppure abbiamo litigato con Carlo e non vogliamo piú saperne di lui: cancelliamo il record, subito, col vantaggio che cosí si libera un po' di spazio nella memoria! O magari, vogliamo inserire l'indirizzo di una nuova amica, Anna Bianchi: aggiorniamo l'archivio aggiungendo un nuovo record. Tutte operazioni fatte con programmi speciali, naturalmente: e ci sono metodi particolari per trovare piú in fretta la chiave che cerchiamo, e per rendere piú facile l'aggiornamento.

Un archivio sul computer, però, può essere enormemente piú grande della nostra agendina telefonica (anzi, di solito è enormemente piú grande!). Può contenere, appunto, tutte le informazioni sui clienti di una banca, anche di una banca molto grande; oppure quelle su tutti gli abitanti di una città (è l'archivio dell'anagrafe, naturalmente); oppure addirittura un certo insieme di informazioni su tutti i cittadini di un'intera nazione, come per esempio le informazioni che riguardano le tasse (è la cosiddetta "anagrafe tributaria", che dovrebbe servire anche a scovare chi cerca di imbrogliare evadendo le tasse). E poi c'è la "anagrafe sanitaria", che registra se un cittadino è stato in ospedale, quali operazioni ha subito, e altri particolari di questo genere. E poi... in breve, qualsiasi informazione può essere registrata in un archivio su calcolatore!

È chiaro che archivi di questo genere richiedono computer molto grandi, e soprattutto memorie di massa su cui si possano scrivere miliardi e miliardi di caratteri. Ma ci sono anche altri problemi, che riguardano il metodo di lavorare su questi archivi, e quindi i programmi che eseguono i vari compiti. Occorre scovare degli algoritmi particolarissimi per reperire in fretta le informazioni che cerchiamo: con l'anagrafe fiscale, per esempio, non possiamo certo permetterci di far passare al computer i record di tutti i contribuenti, uno dopo l'altro, finché non troviamo quello che corrisponde alla nostra chiave! Provate a pensarci: occorre qualche centesimo, o anche qualche decimo di secondo, per ogni record... e i contribuenti,

A fronte: non ci sono dubbi: ormai anche negli archivi piú tradizionali – quelli dei conventi – oggi compaiono i computer!
Sopra: una banca dati è ancor piú di un archivio: è anche il complesso sistema per raggiungere le informazioni che ci servono. Nulla impedisce di consultarla standosene a casa: una telefonata, e un Amico Bit cercherà le notizie che ci interessano.

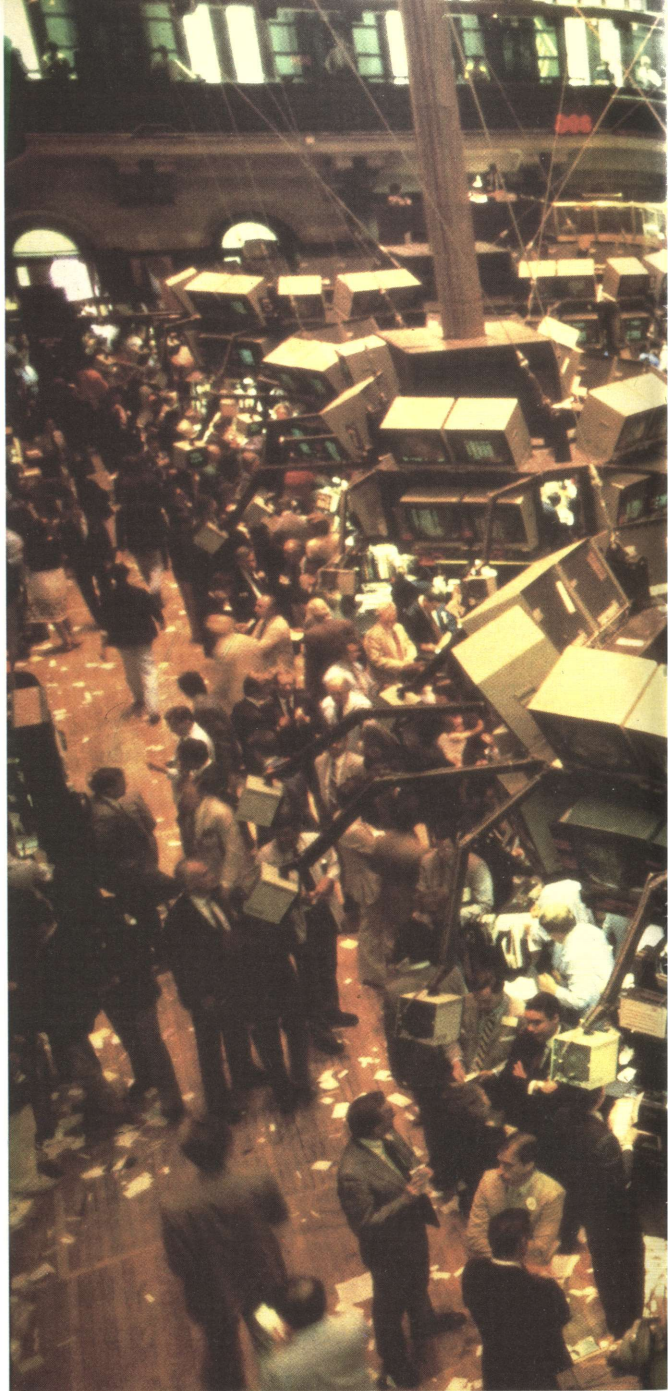
in una nazione, sono milioni! Per raggiungere il signore col codice fiscale ZXAVTS43C69H112U rischieremmo di impiegare alcune ore: un tempo che andava benissimo per il nostro povero vecchio archivista umano (che trattava, al piú, i contribuenti di una sola città), ma che sarebbe del tutto inaccettabile per un computer.

Gli scienziati hanno dedicato una quantità di tempo e di fatica a questo problema: come fare a ritrovare un record piú in fretta che si può?

Un momento, ecco un altro problema, niente affatto meno importante. Fino ad ora abbiamo sempre pensato che ci fosse solo una chiave per cercare un elemento nel nostro archivio: una chiave come il cognome, o il numero di codice fiscale. Ma se pensiamo a quel che succede in un archivio che tutti noi abbiamo consultato almeno una volta, cioè nello schedario di una biblioteca, scopriamo subito che nella realtà le cose non vanno sempre cosí.

Quando cerchiamo un libro, può darsi che ricordiamo il nome del suo autore, e allora gli diamo la caccia, in ordine alfabetico, nello schedario per autori. Ma può darsi che non ci ricordiamo affatto il nome dell'autore e che abbiamo invece un'idea precisa del suo argomento: allora lo cerchiamo nello schedario per argomenti. E magari un libro tocca diversi soggetti: una storia dei computer, per esempio, può essere elencata sotto la voce "storia della scienza", ma anche sotto quella "calcolatori elettronici" e cosí via.

Finché si parla di cassetti pieni di schede e di quaderni zeppi di annotazioni, l'unica soluzione a questo dilemma è riscrivere tanti schedari diversi quante sono le chiavi secondo cui faremo la ricerca. Ma con un computer, questa sarebbe un'autentica follia! Qual è la soluzione che si adotta, in definitiva?

Stiamo parlando di un problema che si chiama "ricerca su piú chiavi": in pa-

Si dice che il mondo degli affari sia molto tradizionalista: sono passati anni prima che le donne venissero ammesse nelle Borse... ma è occorso molto meno perché ci fossero ammessi i calcolatori elettronici! La foto qui sopra mostra la Borsa di New York: cent'anni fa il telegrafo fece fortuna grazie a questa Borsa perché gli uomini d'affari potevano finalmente avere le quotazioni dei titoli in pochi minuti. Oggi, la Borsa è popolata di computer: terminali sulla "scena" e grossi elaboratori "dietro le quinte" (a destra), per seguire rapidamente tutte le transazioni svolte.

F.I.L
Euroclear
A/c No. 92040
New York
010 1 212 809 2000
PAGES
External:
FILA - CD's
FILB - FRCD's
FILC,D - FRN's
FILE,F - US$ CORPS.
NEW YORK
PARIS
TOKYO

role povere, una ricerca delle informazioni sulla base di tanti diversi riferimenti, a seconda dei casi. E lo schedario della biblioteca, trasportato sul computer, ne è un ottimo esempio. In realtà, ogni record viene scritto una volta sola, accompagnato da tutte le sue chiavi. Poi, c'è... una specie di indice, niente affatto semplice, che consente di inseguire tutte le varie informazioni secondo la chiave che la persona impegnata a interrogare l'archivio ha specificato.

Finisce tutto qui? Ma naturalmente no! Pensiamo all'anagrafe di una grande città: noi non vogliamo sapere solo quando è nato il signor Carlo Colombo: vogliamo sapere anche come si chiamano i suoi genitori, e se è sposato vorremmo scoprire il nome di sua moglie, e magari anche che lavoro fa, e se ha figli... e a che scuola vanno, i figli? E via di questo passo. Se dovessimo scrivere tutte queste informazioni nel record del signor Carlo Colombo, saremmo nei guai: e per di piú, non capiterà spesso che vogliamo conoscere tutte quelle notizie, o almeno non vorremo conoscerle proprio tutte. Bene, potremo comunque andare a caccia dei vari dati attraverso l'archivio – scovare il record della signora Luisa Colombo nata Verdi, per esempio – a patto che il nostro archivio tenga conto anche delle relazioni fra i diversi record, cioè, in definitiva, fra le persone a cui quei record si riferiscono!

Oggi, sui calcolatori elettronici sono registrati archivi di ogni genere, e logicamente possiamo chiederci: "Chi ha il diritto di usarli?". Nei vecchi sistemi

Anche il magazzino scorte di un'industria è un particolare archivio. Nella memoria del computer, diventa un archivio in cui registriamo non solo quello che abbiamo sugli scaffali, ma anche infinite altre informazioni: quanti esemplari di un certo oggetto abbiamo comperato l'anno scorso, quanti ce ne occorreranno presumibilmente nei prossimi tre mesi... il computer ci permette di avere delle scorte ragionate: non troppo grosse, per non spendere troppo, e non troppo piccole, se non vogliamo trovarci a corto sul piú bello.

manuali, con armadi e schedari e cassette, c'erano chiavi e persone responsabili che vietavano l'accesso ai non addetti ai lavori: e per quanto riguarda gli archivi sui computer, come vanno le cose?

Finché il calcolatore se ne stava chiuso nel suo centro di calcolo, non c'erano problemi (o quasi): solo la persona autorizzata poteva leggervi o scrivervi, e gli operatori del centro di calcolo tenevano d'occhio la macchina proprio come il vecchio archivista teneva d'occhio i suoi cassetti.

Poi cominciarono a comparire i "terminali remoti" collegati al computer su una linea telefonica, e i sistemi in cui bastava avvicinarsi a una tastiera e scrivere la propria "parola d'ordine" per mettersi in comunicazione con la macchina. Gli esperti - che erano ancora molto ottimisti sulla fondamentale onestà della natura umana - pensarono che naturalmente persone diverse avrebbero potuto avere diverse autorizzazioni per quanto riguardava le operazioni possibili in un archivio, o anche per quanto riguardava le informazioni che avrebbero potuto leggervi.

Immaginiamo l'archivio di un ospedale, dove per ogni paziente è registrata la storia delle passate malattie, insieme alla diagnosi del suo attuale malanno, alle cure che sta facendo e cosí via. Occorre che diverse persone - medici, infermiere, segretarie dell'amministrazione - si servano in vari modi di quei dati: ma, per cominciare, solo i medici possono scrivere qualcosa di nuovo nel record. Per tutti gli altri, come si suol dire in gergo, la registrazione è "protetta contro la scrittura": fatto che il computer riconosce quando legge la parola d'ordine. Ma anche per quanto riguarda la lettura, non tutti hanno gli stessi diritti: i medici hanno il diritto di sapere tutto, certo, ma le infermiere sono al corrente solo delle cure e le segretarie ottengono solo i dettagli che riguardano l'amministrazione... ed ecco che, dalla

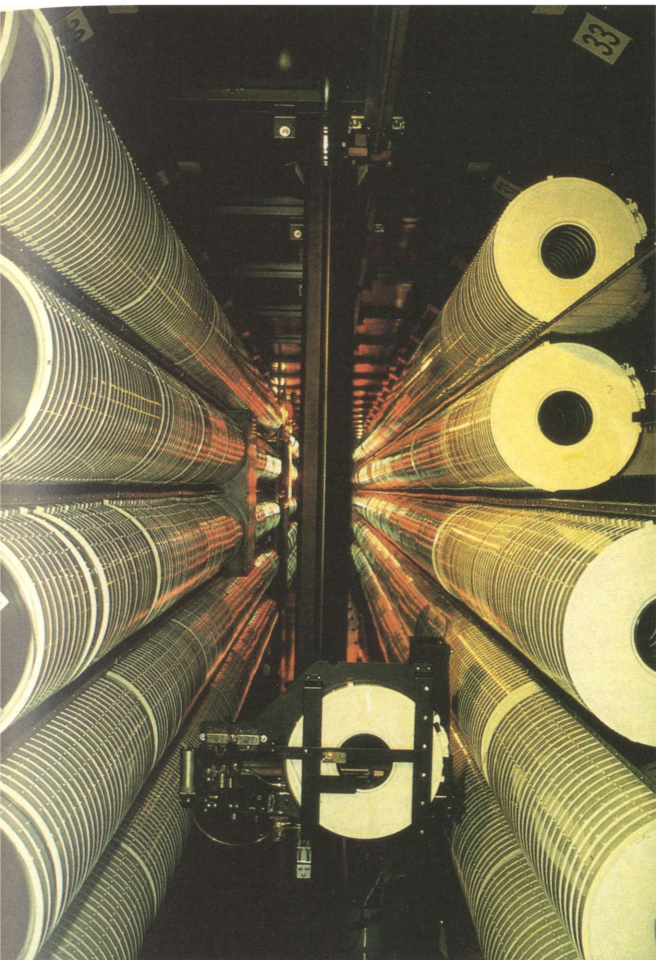
parola d'ordine, il calcolatore riconosce anche le "protezioni in lettura".

Certo, l'uso dei terminali e, piú ancora, quello delle "reti di calcolatori" - in cui tanti computer dislocati anche a centinaia o migliaia di chilometri di distanza comunicano fra di loro scambiandosi dati, comandi, perfino programmi - ha reso ancora piú complicato il problema degli archivi (che, quando sono molto grandi, si chiamano "banche dati").

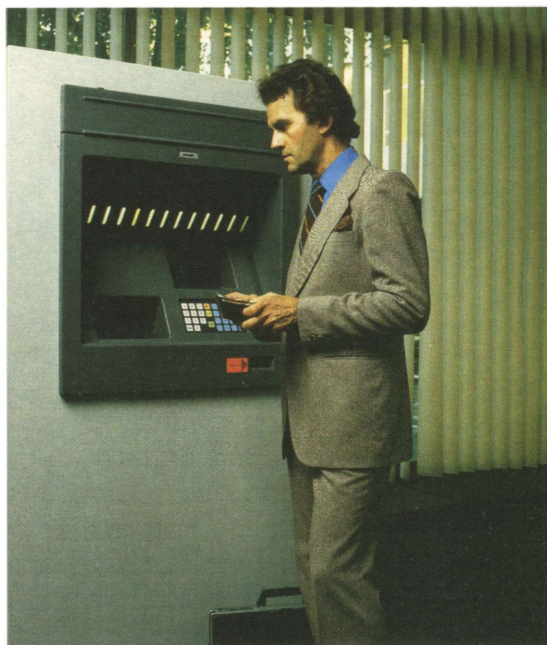
Pensiamo proprio al sistema di calcolo di una banca: può darsi che il cliente X depositi dei quattrini a Milano sul proprio conto corrente e che, contemporaneamente, a Roma qualcuno incassi un suo assegno: due impiegati diversi, da due terminali diversi, cercheranno contemporaneamente di aggiornare la registrazione che riguarda il nostro signor X. È come se due bibliotecarie diverse volessero scrivere contemporaneamente qualcosa sulla scheda dello stesso libro... come fare per essere certi che alla fine la registrazione rispecchierà quel che è successo veramente, e che non conterrà degli errori? E dobbiamo anche evitare che le due bibliotecarie, contendendosi la famosa scheda, finiscano per distruggerla! Certo, sono state trovate delle soluzioni, e, naturalmente, gli studiosi ne stanno cercando altre ancora piú brillanti.

Problemi, problemi... ma ecco che, improvvisamente, ne compare uno gravissimo, a cui dapprima i nostri scienziati idealisti non avevano pensato: il problema della sicurezza di queste banche di dati. Che cosa succede se una persona non autorizzata si mette a frugare in un archivio? E, badate bene, può essere un curioso, ma, molto peggio, può essere qualcuno con intenzioni niente affatto oneste. Le banche dati sono proprio "banche" - qualcuno ha detto che "l'informazione è potere" - e, infatti, è nato anche il "crimine al computer".

Proviamo a vedere che cosa può succedere. Cominciamo da una banca dati di tipo "statistico": una di quelle banche, cioè, che raccolgono una quantità di informazioni, anche molto confidenziali, su una quantità di persone, ma che poi non "cedono" queste informazioni sui singoli individui, poiché forniscono solo delle statistiche: cose del tipo "ci sono centoventi persone con i capelli biondi che posseggono un'auto Mercedes e che hanno fatto sei viaggi in aereo negli ultimi tre mesi". Un ricattatore, o qualcuno che progetta di rapire una persona in grado di pagare un grosso riscatto, potrebbe ricavare un bel numero di informazioni utili da una simile banca dati... ma, naturalmente, l'accesso agli archivi è protetto! Peccato che alcuni studiosi abbiano recentemente dimostrato che un programmatore furbetto riuscirebbe a "penetrare" in qualunque banca dati di tipo statistico, e quindi a rubarne le informazioni!

Di fatto, che cosa occorre a un programmatore furbetto per diventare un "ladro al computer"? Non molto, oltre al cervello. Un gruppo di studenti di un liceo di New York ne hanno offerto una dimostrazione scherzosa, utilizzando il

personal computer della scuola per "insinuarsi" negli archivi su computer di una ditta canadese. È un'esperienza da non ripetere, sia chiaro: quegli studenti, nonostante la loro abilità, danneggiarono alcuni record dell'archivio, proprio come qualsiasi ladro danneggia una serratura con i suoi grimaldelli.

Dunque, occorre un personal computer. Poi, lo si collega alla rete telefonica (esistono degli aggeggi particolari, regolarmente in commercio, che permettono di farlo) e, magari con un po' di fatica, si scova uno dei "numeri telefonici" dell'archivio che ci interessa. Ce ne sono sicuramente molti, dato che il computer centrale deve conversare con i suoi ter-

A sinistra: anche una rete radiotelevisiva (o una grande discoteca) può avere un particolare archivio: una biblioteca di nastri dove un braccio meccanico sceglie il nastro che vogliamo suonare... e il braccio, naturalmente, è comandato da un computer.
In basso, a sinistra: un archivio molto piú drammatico è quello della Polizia: una sala operativa come questa è collegata con computer sparsi nell'intera nazione, che forniscono continuamente notizie su crimini di ogni genere.
Sotto: anche il pacifico "Bancomat" è collegato al grande archivio computerizzato della banca.

minali e con gli altri calcolatori della rete. A questo punto, occorre scoprire una parola d'ordine accettabile: e questo, naturalmente, è già molto piú complicato. Si può procedere per tentativi, anche se non è un metodo molto veloce, tutt'altro. Oppure si può aspettare che un altro utente (autorizzato, questa volta) si colleghi con il computer, e poi "origliare" per scoprire quali sono gli ordini che lui dà. Evidentemente tutto è molto piú facile se il nostro malfattore non è uno studente di qualche scuola lontana, ma un dipendente dell'azienda proprietaria dell'archivio oppure di quella che ha preparato i programmi per l'archivio...

Furti di questo genere ce ne sono stati molti, e ancor piú numerosi sono quelli che non vengono scoperti o di cui, almeno, non si scoprono i colpevoli. Molto spesso si tratta di veri e propri furti, in denaro sonante, be', sarebbe meglio dire denaro depositato su un conto corrente. Tutte le banche, oggi, tengono le loro registrazioni su un computer: e l'FBI ha calcolato che le rapine "in colletto bianco" - rapine fatte ordinando al computer di trasferire dei fondi (illegalmente, sia ben chiaro!) su un certo conto corrente "fantasma" - fruttano in media ben 460 000 dollari, contro un misero 2000 dollari per le rapine "convenzionali", quelle con il bandito armato e mascherato! E non parliamo, poi, di quanto può fruttare lo spionaggio industriale, per chi riesca in questo modo a impadronirsi dei brevetti e dei segreti industriali della concorrenza (che, ovviamente, ha registrato tutte le informazioni vitali in un'apposita banca dati!).

Come difendersi? Con uno dei metodi piú antichi del mondo: con i codici segreti. Le registrazioni, in questi archivi, vengono crittografate; certo, si può sempre tentare di decifrare anche questi codici ma - se si utilizzano i metodi raccomandati dal DES, che è una specie di "manuale per la crittografia" preparato dal governo degli Stati Uniti - occorrerebbero una trentina di milioni di miliardi di tentativi per scoprire il segreto! Troppo, anche per un computer...

Il computer detective

Il calcolatore elettronico può essere un alleato dei criminali: ma può anche essere un alleato degli investigatori. In effetti, molte polizie del mondo si servono di potenti computer durante le indagini: e alla base di questo uso ci sono proprio delle grandi banche di dati.

Tutti sappiamo che la polizia ha registrato nella memoria di un calcolatore, ad esempio, l'elenco delle auto rubate: cosí, quando si ritrova un'auto "sospetta", rintracciare il suo proprietario e le altre informazioni relative è molto piú veloce che se la ricerca dovesse essere fatta a mano. Ma ci sono anche operazioni molto piú raffinate e complicate!

L'FBI, tanto per parlare della polizia piú celebre del mondo, ha un archivio di 60 milioni di impronte digitali; quando alla "centrale" di Washington arriva una richiesta di identificazione di qualche impronta digitale trovata sul luogo di un furto, o di una rapina, o di qualche altro crimine (e ne arrivano circa 20 000 al giorno) il computer comincia col "ripulire" la fotografia delle impronte trovate, in modo da rendere ben nitida l'immagine. Poi identifica alcune caratteristiche principali come l'orientamento delle linee e delle curve che formano l'impronta, cosí da classificarla e da rendere piú veloci le ricerche successive... e finalmente fornisce l'identificazione o, se non altro, indica l'insieme delle impronte schedate che piú assomigliano a quella appena arrivata.

Si sta costruendo un altro sistema del genere, questa volta per identificare le impronte vocali: i rapitori che telefonano alle famiglie per chiedere il riscatto potrebbero essere riconosciuti da un computer attentissimo alla loro voce! Ma altri successi, ancora piú importanti, vengono dall'alleanza fra elettronica e chimica. Ogni sostanza, infatti, ha delle caratteristiche chimiche del tutto particolari, che possono essere identificate mediante speciali analisi chimiche: e, utilizzando i risultati di queste analisi, si possono costruire grandi banche di dati, che contengono le informazioni su decine di migliaia di sostanze, diverse come la vernice di un'automobile o il gesso usato su una lavagna o lo smacchiatore con cui si è tentato di cancellare una macchia di sangue. Quando sul luogo del delitto si raccolgono le tracce di qualcosa che può essere collegato al criminale - qualche fibra di lana da un vestito, o un ciuffo di peluria da un tappeto, o una scaglia di vernice di una motocicletta, o altri materiali piú esotici - basta che il computer confronti il risultato delle analisi con l'enorme quantità di informazioni memorizzate nella banca dati. Sherlock Holmes, che scriveva libri interi sui vari tipi di cenere di sigarette e cose simili, ne sarebbe entusiasta!

Gli occhi, le orecchie, la voce...

Nei film di fantascienza, robot e altre macchine non hanno nessuna difficoltà a chiacchierare amichevolmente con gli esseri umani, a passeggiare per ambienti

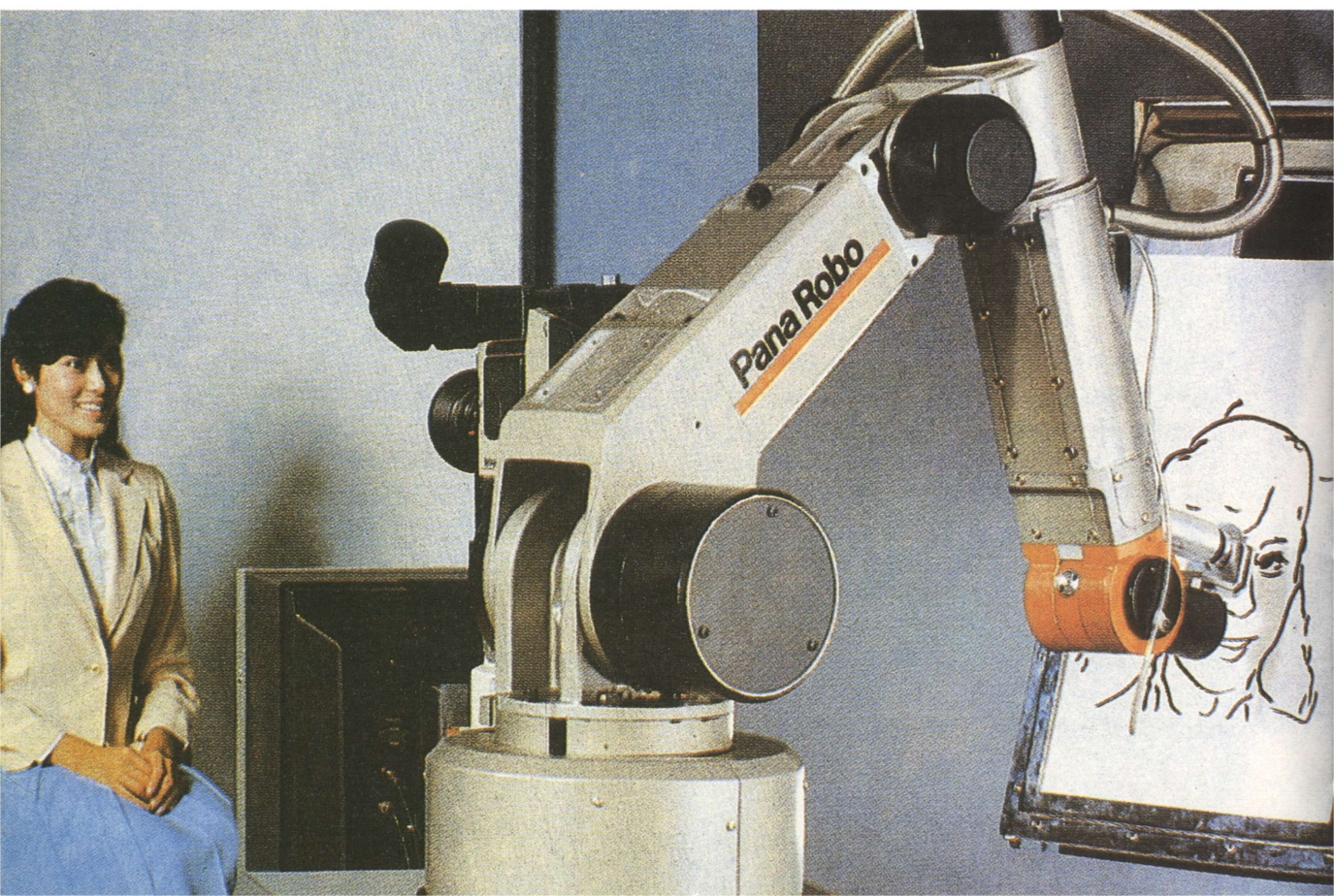
piú o meno esotici facendo commenti sulle scene che vedono... insomma, hanno occhi e orecchie e voce. Nella realtà, è possibile che un computer riconosca dei disegni, delle immagini, dei manoscritti, oppure le parole pronunciate da una voce qualsiasi?

Come potete intuire, questo è un problema che gli scienziati si sono posti molto presto: finché il computer doveva limitarsi a "leggere" dei codici perforati su delle schede di cartoncino o trasmessi da una tastiera di telescrivente, è ovvio che le sue attività non potevano andare oltre certi confini. Ad esempio, non si sarebbe mai potuta costruire una macchina capace di controllare l'autenticità di una firma su un assegno, o di accettare un comando dato a voce, o di esplorare il cielo alla ricerca di un aereo...

Cominciamo dagli occhi: come si fa a dare la vista a un computer? Occorrono un bel po' di strumenti: una telecamera, innanzitutto, infatti è grazie alla teleca-

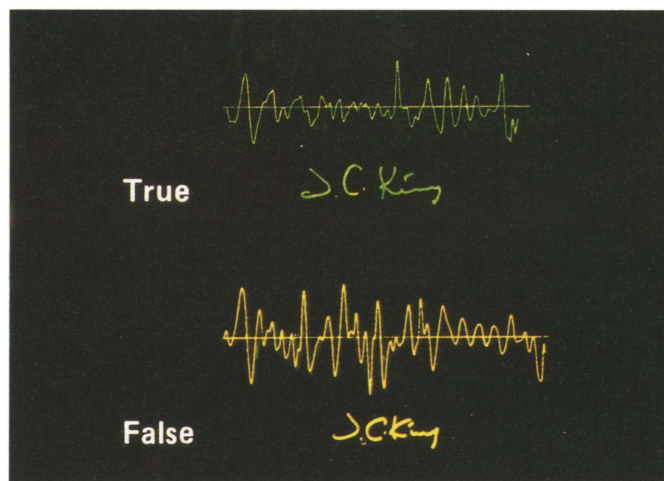
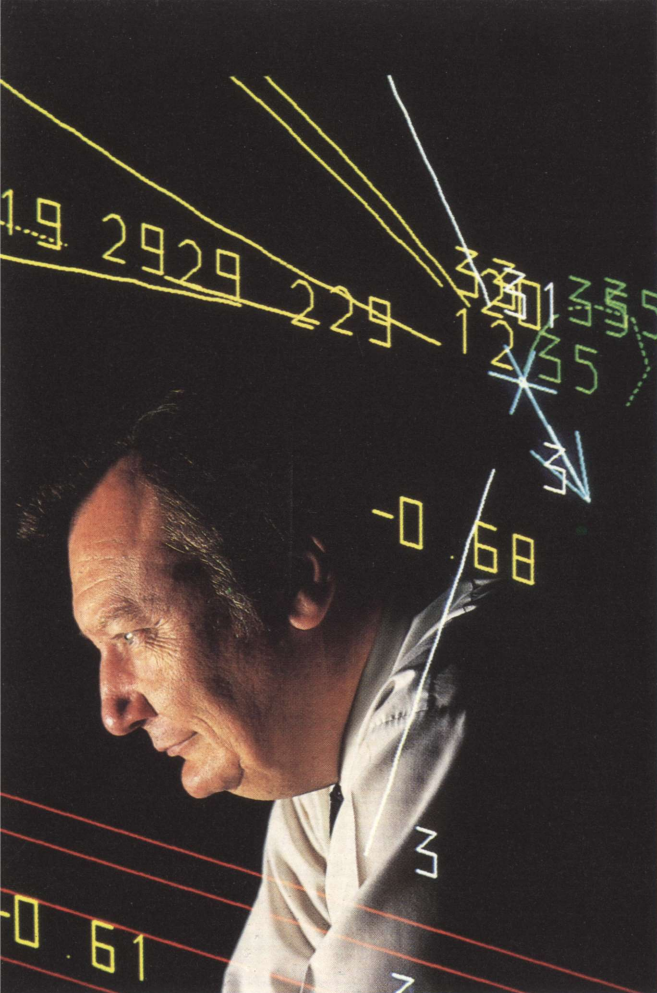
mera che la macchina "vede" le scene intorno a sé. La telecamera, poi, trasforma il "quadro" in un'infinità di punti: i "pixel". Per semplificare, supponiamo per il momento che il nostro quadro sia nient'altro che un'immagine in bianco e nero: per ogni punto del quadro possiamo fare una misura, quella che tecnicamente si chiama la "misura del livello di grigio" del punto: se pensiamo che il numero zero rappresenti il bianco e che il numero 255 corrisponda al nero piú fondo, è chiaro che un qualsiasi valore intermedio corrisponderà a un grigio, piú o meno cupo (certo, la misura in realtà la fa una macchina speciale!). In questo modo, abbiamo trasformato l'immagine in un insieme di numeri che il computer è in grado di ricevere, di memorizzare, di elaborare... già, ma quali elaborazioni, quali operazioni si possono fare sull'immagine?

Gli studiosi hanno dovuto cercare di comprendere quali sono i metodi (del tutto inconsci, per quanto ci riguarda) con cui un essere umano riconosce un'immagine: solo cosí si sarebbe potuto programmare il computer in modo da fargli simulare il nostro comportamento. Per cominciare, bisogna osservare che le cose sono molto diverse a seconda che si tratti di un'immagine semplice – diciamo, qualche carattere dell'alfabeto – oppure di un'immagine complessa come un vero e proprio panorama, oppure un cielo pieno di aerei che stanno atterrando su un aeroporto, magari una radiografia (il computer può anche aiutare i medici, sapete!). Vediamo per prima cosa che succede quando l'immagine è semplice...

Supponiamo di avere un foglio su cui è stampata una lettera dell'alfabeto: quando la legge, il computer ottiene una fila di numeri che dicono se ogni punto è bianco oppure nero. Su questo insieme di numeri il calcolatore fa una serie di conti: per esempio, valuta quanti sono i punti neri e quanti quelli bianchi, quanti ce ne sono nella metà del quadro

poco sbiaditi, il computer farà molto piú fatica a riconoscerli, vale a dire che abbastanza spesso risponderà "carattere incomprensibile". A che cosa serve, questo riconoscimento, con tutti i suoi limiti? Per una quantità di cose: per leggere automaticamente il numero degli assegni, in banca, per costruire una macchina capace di riconoscere gli indirizzi delle lettere e quindi di "smistare" automaticamente la posta, per realizzare dei "sistemi di ufficio" che prendano i fogli dattiloscritti da un giornalista e ne ricavino una bella pagina "composta" e pronta per essere stampata... già, ma, come al solito, vogliamo subito delle macchine ancora piú ambiziose!

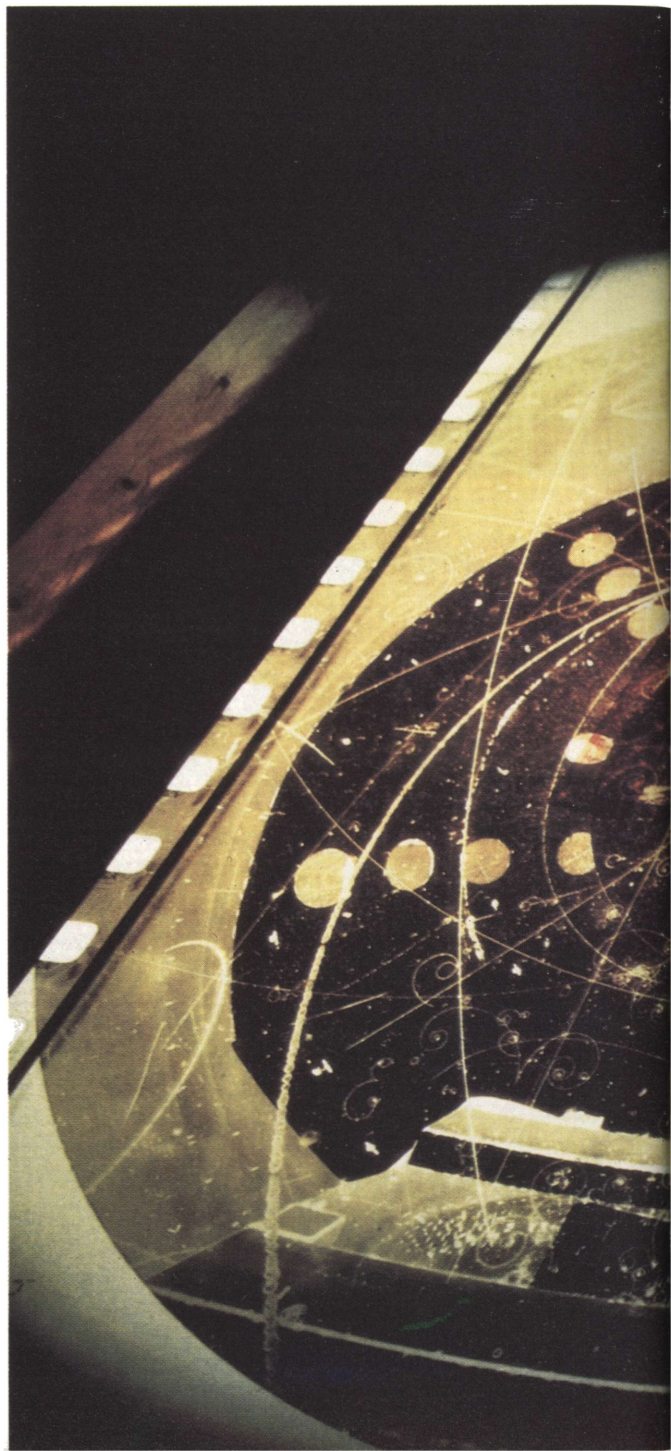
Chi, ancora, ha bisogno di un computer che riconosca semplici disegni a due colori (o poco piú) fatti solo di linee, di punti, di tratti elementari? Proviamo a fare un elenco. Ci sono i medici e i biologi, con i loro "vetrini" su cui è depositata una goccia di sangue o un frammento di pelle o qualche altro

in alto a sinistra piuttosto che in quella in basso a destra, "insegue" la linea di punti neri e riconosce se fa un occhiello oppure se ne fa due o magari nessuno... gli esperti dicono che il computer fa delle "misure". Supponiamo che la lettera sia una A maiuscola: il calcolatore traccia un'immaginaria diagonale sul foglio di carta e conta i punti neri in ognuna delle due metà del foglio. Poi dice che il disegno ha un occhiello e due gambe... quindi va a controllare in una tabella che ha registrato nella sua memoria se esiste qualche lettera di sua conoscenza che ha delle caratteristiche simili: se la trova "riconosce" la lettera A, altrimente risponde "carattere sconosciuto".

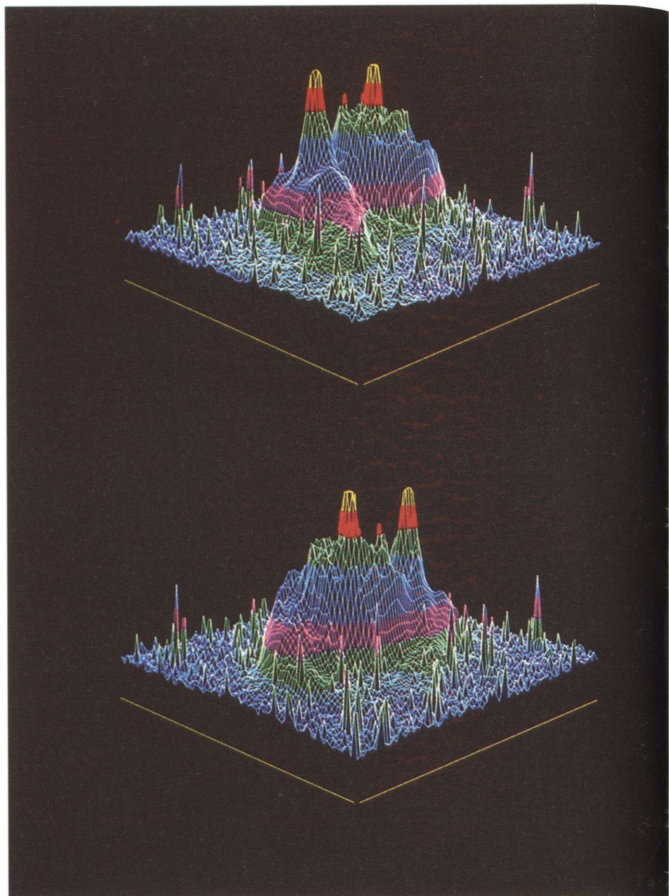
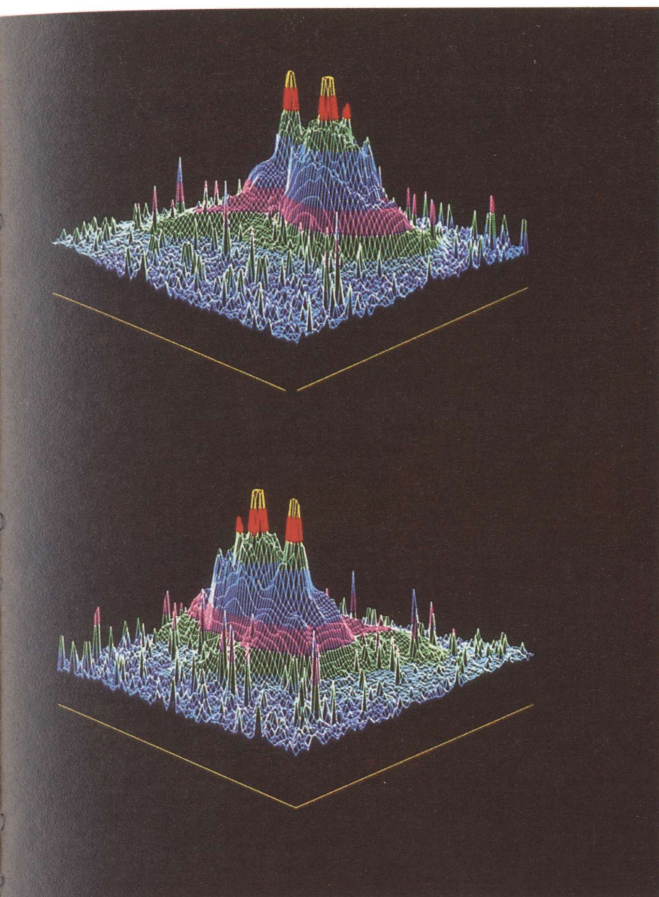
Naturalmente, questo può essere relativamente semplice se il computer deve riconoscere dei caratteri scritti a macchina in modo molto nitido: certo, se i caratteri sono manoscritti, o magari un

A fronte: un robot che "vede", "disegna", ed è addirittura capace di fare un ritratto!
In alto: come "guarda" un computer? Il bambino e il cane sono un insieme di punti con tanti "livelli di grigio", e il computer ricostruisce un'immagine in falsi colori, legati ai numeri assegnati ai punti.
Sopra: il computer "interpreta" con delle onde una firma autentica e una falsa, e come le distingue!

A sinistra: il professor Rubbia davanti al display di un computer. Fin dall'inizio, i calcolatori elettronici furono impiegati nelle ricerche di fisica nucleare e "subnucleare" (quella che studia le piú piccole particelle che costituiscono la materia). Sotto: i computer servono anche a "vedere" quello che sarebbe invisibile all'occhio umano. Esaminano migliaia di lastre fotografiche impressionate dalle particelle subnucleari in impianti speciali come la "camera a bolle", e dalla traccia che le particelle lasciano riescono a scoprire... magari anche delle nuove particelle!

"campione" per le analisi: vogliono riconoscere e contare certe particolari cellule, per controllare lo stato di salute dei malati. Un computer capace di fare questo lavoro potrebbe completare le analisi di migliaia di pazienti nel tempo che un uomo impiega per controllarne una dozzina: un vantaggio enorme, se pensate che la possibilità di curare efficacemente alcune malattie gravissime – in particolare, il cancro – dipende da una diagnosi il piú possibile precoce, e che per questo sarebbe necessario che tutti si sottoponessero periodicamente a queste analisi!

Ma non sono solo i medici a dover controllare migliaia di immagini: ci sono i fisici nucleari che "inseguono" le tracce sfuggenti di particelle subatomiche, per esempio (anzi, furono proprio loro a "inventare" il problema del rico-

noscimento delle immagini). E ci sono... be', i poliziotti: che altro sono le impronte digitali, se non disegni in bianco e nero? E poi ci sono gli architetti, che hanno centinaia di disegni - disegni di case, per esempio - da catalogare e da registrare in una maniera un po' meno ingombrante che nelle tradizionali cartelle di cartone. E poi, e poi...

E poi, questo computer non sarebbe ancora capace di "vedere" se riconoscesse solo dei disegni (magari semplici!). A noi occorre che la macchina riesca a esaminare delle immagini molto piú complicate. Ci occorre che un robot veda un cestello di "pezzi" - le parti di un motore, per esempio - e che sappia tirarne fuori il pezzo che gli occorre, controlla-

re se è difettoso, metterlo nella posizione giusta. Ci occorre che il radar esplori il cielo, identifichi tutti gli oggetti volanti – riconosca la loro forma, la loro velocità, la traiettoria che stanno percorrendo – e stabilisca qual è l'oggetto amico e quale quello nemico, o anche semplicemente che ritrovi subito l'aereo in fase di atterraggio da guidare in mezzo a un nebbione micidiale. E poi ci sono i satelliti che inviano a terra fotografie della superficie terrestre: studiandole, si possono riconoscere le condizioni dei raccolti, le malattie delle piante che colpiscono le grandi foreste, il progressivo inaridirsi del suolo nelle zone colpite dalla siccità... parleremo piú avanti degli infiniti usi del computer nell'esplorazione spaziale, ma si capisce subito che gli occorrono degli "occhi" per essere veramente utile!

Il problema, evidentemente, è molto piú complicato di quando volevamo semplicemente riconoscere dei caratteri stampati: il computer dovrà fare una quantità di misure – misure sul tono e

Il computer traduce tutto in numeri, e i numeri possono ritradursi in disegni. L'apparecchiatura nella foto a fronte, ad esempio, raccoglie dati che un computer utilizzerà nelle ricerche petrolifere.
A sinistra: diagrammi che rappresentano l'intensità di fenomeni studiati nei laboratori di ricerche nucleari di Los Alamos.
Sotto: le temperature della Corrente del Golfo "viste" dal computer e trasformate in colori: dal blu (freddo) al porpora (circa 27 gradi).

sull'intensità dei colori, sul tipo di contorni che si riescono a riconoscere sull'immagine, sul contrasto fra una parte dell'immagine e un'altra – e poi cercherà di isolare delle figure piú semplici, che conosce già (proprio come facciamo noi). Se il nostro robot deve trovare un disco con tre buchi, gli insegneremo a identificare la figura "disco" anche in mezzo a una quantità di altre figure, e poi gli faremo cercare quelle strane cose che sono dei fori, e se alla fine ha scoperto un disco e ha deciso che contiene tre fori, potrà prendere quel pezzo e montarlo al posto giusto, proprio come avrebbe fatto un meccanico.

C'è un particolare... un particolare niente affatto secondario, però. Supponiamo che il calcolatore elettronico debba riconoscere un'immagine proiettata su uno schermo televisivo: si tratta di una figura fatta di 625 righe, in ognuna delle quali trovano posto 625 punti: quasi quattrocentomila pixel su cui fare una quantità di conti! E se l'immagine è piú complessa – per esempio, una fotografia di quelle trasmesse dai satelliti-spia, la cui precisione è tale da permettere di individuare un aereo sulla pista dell'aeroporto, o un camion su un'autostrada o addirittura un uomo col suo cane nel giardino di casa – il computer dovrà esaminare un numero ancor piú grande di punti. Certo, occorre innanzitutto che nella sua memoria ci sia spazio sufficiente per tutte queste informazioni. Ma occorre anche che i calcoli vengano svolti molto velocemente: non possiamo aspettare alcuni giorni prima che la macchina ci dica che cosa ha visto... si farebbe piú in fretta a far lavorare un bel po' di esseri umani, visto che

guardare e riconoscere sono compiti che sappiamo fare benissimo! Ed ecco che, per questi tipi di applicazioni, si stanno usando computer straordinariamente veloci, macchine capaci di fare centinaia di milioni di operazioni al secondo, nientemeno. Quando ascoltate le previsioni meteorologiche, ricordatevi che dietro all'annuncio di maltempo o di sole c'è un supercomputer che ha esaminato velocemente le foto inviate dai satelliti meteo...

E cosí, abbiamo il computer che vede: ma c'è anche un altro sogno: il computer che ascolta e che parla. Sarebbe straordinariamente comodo poter dare degli ordini alla macchina cosí, semplicemente, a voce! Proviamo a pensare ad alcune delle applicazioni possibili: in fabbrica, un operaio può comandare al robot di eseguire un'operazione piuttosto di un'altra, senza dover correre a premere tasti a destra e a sinistra; in ufficio, basta dettare a una macchina per scrivere superintelligente, che pensa da sola a scrivere poi per bene le lettere; in ospedale, il medico mentre visita il paziente detta al suo computer personale

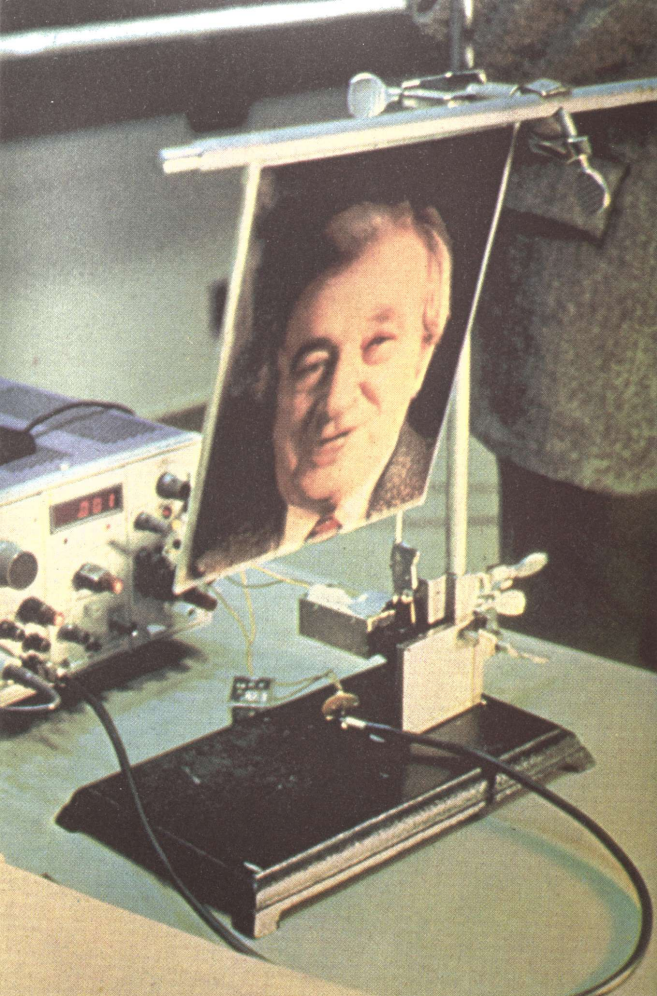
Gli "occhi" del computer servono anche per guardare le opere d'arte: oh, non certo per ammirarle e dire "che bello!". Innanzitutto, se gli "occhi" sono strumenti di analisi chimiche come lo spettrofotometro fotografato in basso a fronte, il calcolatore può utilizzarli per scoprire lo stato di salute di un'opera d'arte: controllare se è stata attaccata dall'inquinamento, o se è stata alterata dall'umidità, ad esempio. O verificare se dei restauri eseguiti in epoche successive hanno mascherato il dipinto originale (le porte del Battistero di Firenze, a fronte, e gli affreschi della Cappella Brancacci, qui sopra, sono stati esaminati in questo modo).

sintomi e cure, e il computer prepara ricette, prenotazioni per analisi mediche e cosí via...

Attenzione: come per le immagini, anche per la voce in realtà ci sono due problemi distinti: una cosa è "riconoscere" una parola, una cosa ben diversa è "capire un discorso"!

Vediamo come si presenta il problema quando si tratta di "riconoscere il parlato" (è un'espressione un po' buffa, ma è quella che usano gli esperti!). Una parola, quando noi la pronunciamo, è composta non dai suoni delle singole lettere, ma piuttosto da "fonemi", suoni piú complessi che corrispondono a particolari gruppi di lettere: la r in "ragazzo" o in "baruffa" in realtà ha un suono diverso, e va sentita insieme alla vocale che la precede (bàr...) o a quella che la segue (rà...).

Se parliamo davanti a un microfono e poi guardiamo sullo schermo di uno strumento elettronico il suono, vediamo una linea ondulata che ha "picchi" (punti in cui l'onda è molto alta) e "nodi" in cui l'ampiezza dell'onda quasi si annulla: e ci sono onde molto ravvicinate e altre piú distanziate. Il computer in realtà "ascolta" questo segnale elettrico, su di esso compie delle misure: calcola i punti in cui l'onda è piú ampia, valuta la "frequenza" (approssimativamente, il numero di onde che si susseguono in un secondo) e cose di questo genere: ma il problema è terribilmente complicato, molto piú di quello di riconoscere dei caratteri scritti in stampatello su un foglio di carta!

Per cominciare, nessuno di noi pronuncia una lettera per volta, e nemmeno una parola per volta: come può, il computer, identificare le divisioni fra un fonema e l'altro, fra una parola e l'altra? Il microfono manda un segnale in cui le onde elettriche si susseguono continuamente, ma per riconoscere suoni e parole occorre suddividerli! Per di piú, i suoni cambiano molto a seconda che parli una ragazzina di Roma o un vecchio signore di Venezia, anche se nessuno dei due parla in dialetto: il suono cambia

Forse manca poco al giorno in cui ci siederemo davanti a una parete bianca... e il computer creerà per noi le immagini piú curiose. Magari immagini di terre lontane (come nella foto qui sopra), o addirittura figure in tre dimensioni che conversano con noi (l'apparecchiatura nella foto a sinistra fa proprio uno scherzetto del genere, servendosi di normali fotografie come base di partenza)! Certo, i tempi sono molto cambiati da quando il computer era lo strumento stregonesco di pochi scienziati!

molto con la voce di chi parla, insomma. Se ci pensate, anche gli esseri umani a volte (abbastanza spesso, a dire il vero) fanno fatica a capire che cosa il loro interlocutore sta dicendo: sovente si aiutano con la conoscenza dell'argomento di cui si parla: se il nostro compagno ha la erre moscia, sappiamo pur sempre che si riferirà a una "frattura" se si discorre di gente che è caduta sciando, e che citerà invece una "fattura" se il problema è quello di un acquisto che deve essere regolarmente pagato. E il computer, come se la cava?

I primi sistemi per il riconoscimento del parlato si sono limitati a riconoscere parole singole, scelte in un ben preciso vocabolario e pronunciate da una persona ben individuata: si dice che il calcolatore "viene addestrato" sulla voce di quella persona. In effetti, la voce di ognuno di noi ha delle caratteristiche cosí individuali da essere delle vere e proprie impronte vocali: è possibile costruire un antifurto in grado di riconoscere la parola d'ordine solo se è pronunciata dalla persona giusta, e nessun imitatore riuscirebbe mai a falsificare l'impronta vocale!

Con le parole singole e l'addestramento su un operatore si ottiene già qualcosa: un operaio può ordinare a una macchina utensile cose come "su", "giú", "a sinistra", "fermo"... ma dov'è la macchina da scrivere intelligente? Per questa, occorre che il computer riconosca il parlato continuo, cioè un vero e proprio discorso, con un vocabolario piuttosto ampio: e poi, una macchina da scrivere deve accettare la dettatura di diverse voci, non di una sola! E occorre anche che conosca l'insieme degli argo-

menti a cui ci si riferisce: come distinguere "novanta all'ora" (stiamo parlando di un'auto) da "novanta, allora..." (si dice che il nonno ha novant'anni, e allora non può piú camminare tanto disinvoltamente!). Insomma, ci occorre un computer con una "base della conoscenza" e una "capacità di deduzione": il computer degli anni futuri, ecco.

Ma, se è ancora un poco "sordo", il nostro computer è tutt'altro che muto: sono diversi anni, oramai, che ha imparato a parlare: e non si limita a dire parole isolate o brevi frasi, ma fa veri e propri discorsi. Ci sono anche dei giocattoli in cui un microcomputer "parla"; e una voce sintetica - un poco impersonale, un po' troppo precisa - ripete le parole di una lingua straniera, oppure ci legge i numeri telefonici, o magari dice al pilota di un aereo quali sono le condizioni delle piste o ricorda all'automobilista che deve allacciare la cintura di sicurezza.

Naturalmente, la voce per il computer è "costruita" con un circuito elettronico particolare, che compone i vari suoni in modo da creare le parole o le frasi con la giusta intonazione (interrogativa, o esclamativa, e via dicendo). E potremmo benissimo trovarci a fare un discorso di questo genere:

Il cliente: « Vorrei prenotare un posto su un aereo ».

L'agenzia viaggi: « Ci dica qual è il suo programma di viaggio, per favore ».

Il cliente: « Voglio andare da New York a Boston, martedí mattina ».

L'agenzia: « C'è un volo che parte da New York alle dieci e arriva a Boston alle 10,47 ».

Il cliente: « Vorrei partire verso le undici ».

L'agenzia: « C'è un volo che parte alle undici e arriva a Boston alle 11,45 ».

Che c'è di strano? Il cliente non sta discorrendo con un'impiegata dell'agenzia viaggi. Chi lo ascolta e gli risponde è un computer!

Si cominciava a usare il computer...

Provate un po' a leggere questo elenco:

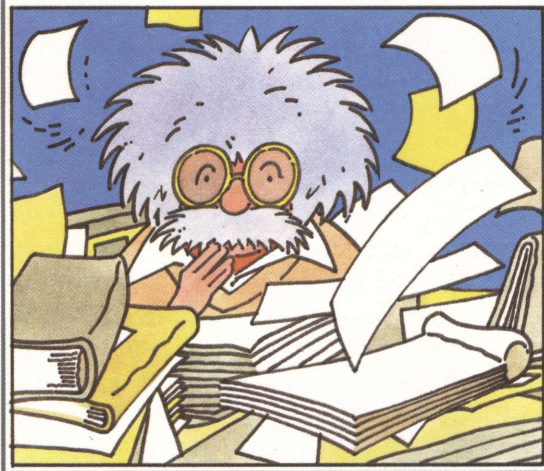
1 Calcolo degli schermi di protezione contro i neutroni nelle centrali nucleari.
2 Calcolo dei motori a reazione.
3 Studio delle vibrazioni degli elicotteri.
4 Calcoli per il controllo della produzione delle industrie.

...Questi erano i lavori che, nel 1951, gli esperti della IBM consideravano adatti ai primi computer. A parte, naturalmente, quei calcoli supersegreti di tipo militare di cui si è già parlato...

Tutti calcoli scientifici, in un modo o nell'altro: problemi che solo le grandi industrie o gli studiosi di qualche centro di ricerca potevano porsi. Lavori che richiedevano proprio un'enorme quantità di conti, ecco cos'erano. Pensate che piú o meno in quegli anni un cosiddetto esperto calcolò che una mezza dozzina di computer, al massimo, avrebbero risolto tutti i problemi che gli scienziati sarebbero riusciti a immaginare!

È fin troppo facile prendersi gioco di quelle previsioni sbagliate: dopo tutto, non si può far colpa agli ingegneri, ai dirigenti d'azienda, e magari anche ai disegnatori di cartoni animati e ai musicisti, se non avevano avuto l'idea di usare una macchina che non esisteva ancora. Se non esiste lo strumento, è difficile inventare il modo di usarlo: fino a quando non comparve il calcolatore elettronico, tutti quei lavori che richiedevano lunghi calcoli, interminabili ricerche in archivi sconfinati, tentativi ripetuti migliaia di volte, erano agli effetti pratici del tutto impossibili.

Qualche scienziato fece delle previsioni che i suoi colleghi, probabilmente, trattarono da fantascienza. Norbert Wiener inventò la "cibernetica", cioè la scienza che usa i calcolatori per controllare in modo automatico macchine e impianti, ma certo quelle applicazioni sembravano piuttosto fantasiose per le macchine ingombranti e poco affidabili di quei tempi! Eppure, i primi semi dell'"automazione" erano stati piantati...

Ora che c'erano gli strumenti, gli scienziati cominciarono anche a... no, non a inventare dei problemi! I problemi erano molto reali, e c'erano da prima: gli archivi esistevano da migliaia di anni, gli ingegneri avevano sempre fatto dei progetti, le auto avevano viaggiato fin dagli ultimi anni dell'Ottocento, le segretarie avevano fatto funzionare gli uffici, i disegnatori avevano prodotto raffinati cartoni animati... ma ora, finalmente, c'era qualcosa che poteva essere utile per tutti questi lavori, e per mille altri ancora. Qualcosa infinitamente piú potente di una matita e di un foglio di carta!

Una pacifica invasione

Una questione personale

È una storia che comincia come in un romanzo: uno di quei semplici romanzetti ottocenteschi in cui bravi giovanotti pieni di entusiasmo e buone qualità conquistano incredibili successi grazie a qualche straordinaria invenzione di cui naturalmente nel romanzo non si danno molti dettagli...

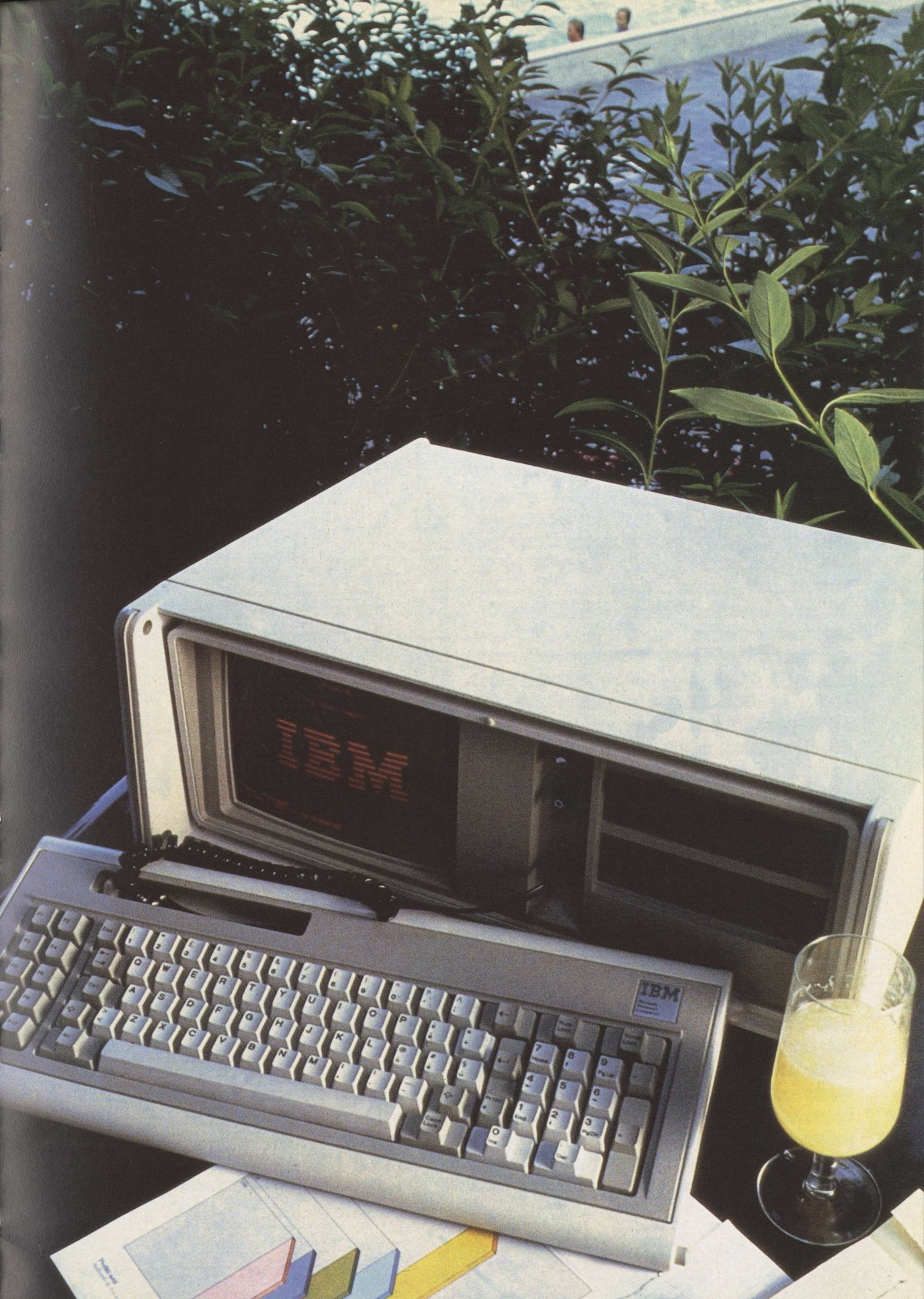
Si era in California, sulle colline vicino a San Francisco, verso la metà degli anni Settanta. Le piccole città della zona – Stanford, Berkeley, Palo Alto e cosí via – erano celebri soprattutto per le loro università: c'erano tanti scienziati, lí intorno, e tanti laboratori di ricerca, che ben presto era nata anche una moltitudine di industrie, di quelle che hanno bisogno di pochi specialisti bravissimi piuttosto che di folle di operai. Un mondo popolato da gente giovane, piena di sogni e di idee; i tempi degli hippy, dei figli dei fiori, che avevano trasformato i prati della California in bizzarri accampamenti, oramai erano passati, ma l'atmosfera restava satura di non conformismo, di entusiasmo e anche di fantasia.

Negli stessi anni erano nati anche i primi chip: quella che era stata una piccola industria elettronica specializzata in circuiti integrati per memorie, l'INTEL, era diventata di colpo la piú importante casa produttrice di microcalcolatori. Le nuove industrie elettroniche nascevano come funghi nelle verdi vallate intorno a San Francisco... e, inevitabilmente, una quantità di inventori o aspiranti tali cominciarono a chiedersi che cosa si sarebbe potuto fare con questi fantastici chip, e cominciarono a costruire sistemini che facevano le cose piú bizzarre. Brevettarono microcomputer che preparavano cocktail con l'abilità di un barman e microcomputer che controllavano l'imbottigliamento delle bevande analcoliche. Sistemini per controllare la bilancia del salumiere o per comandare macchinari industriali.

Dopo tutto, pareva che con pochi fondi e molto cervello chiunque riuscisse a progettare un circuito a base di microprocessori: e perfino l'austera Associazione degli Ingegneri Elettronici aveva bandito un concorso per il prodotto piú originale e piú brillante costruito con un microcalcolatore.

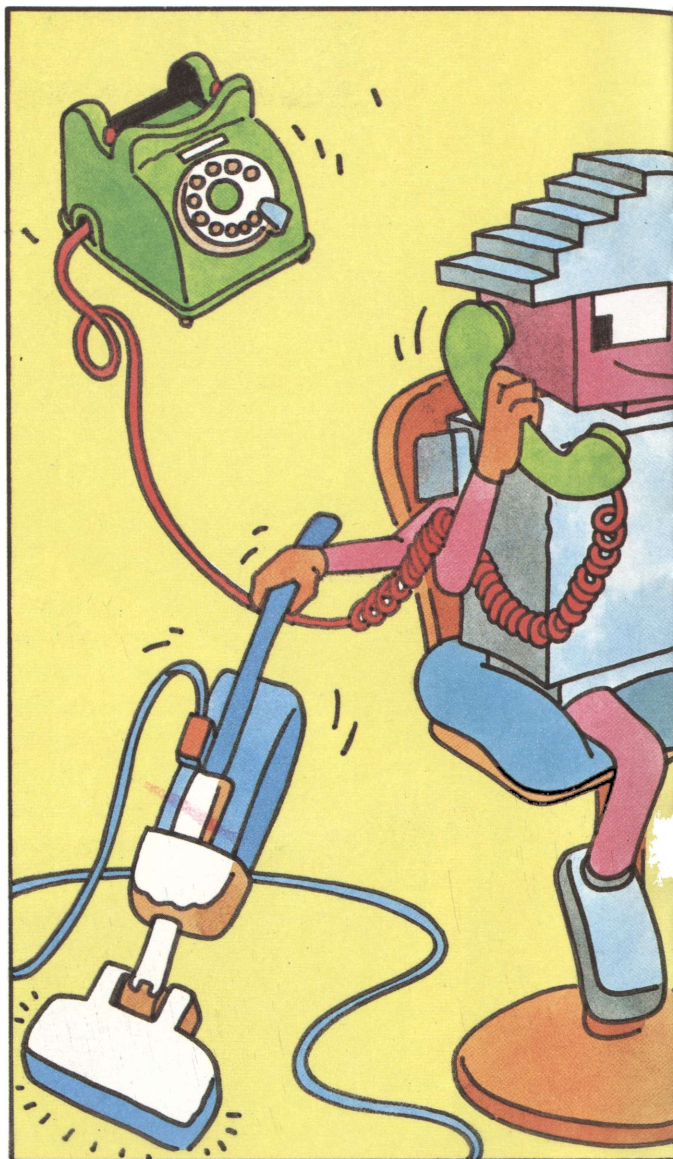
Quegli inventori avevano tutti due cose in comune: la giovinezza e la mancanza di quattrini. Le aziende elettroniche che nascevano da un giorno all'altro erano state battezzate, dagli industriali "seri", le "aziende da garage", perché nella maggior parte dei casi il fondatore non poteva permettersi di affittare un autentico ufficio e cosí impiantava la ditta nel garage di famiglia.

Fra tanti inventori appassionati di elettronica, c'erano due particolari giovanotti: si chiamavano Steven Jobs e Steven Wozniak. Appena erano comparsi i primi microprocessori, i due si erano comperati una manciata di chip e si erano laboriosamente costruiti un minuscolo calcolatore: un lavoro d'inferno, visto che non esisteva nessun sistema per aiutare chi voleva sviluppare un microcomputer. Occorreva progettare il circuito, saldare i componenti elettronici sulla piastra di supporto, e, dopo tutto questo lavoro, ci si ritrovava in mano solo del modesto hardware... che, come

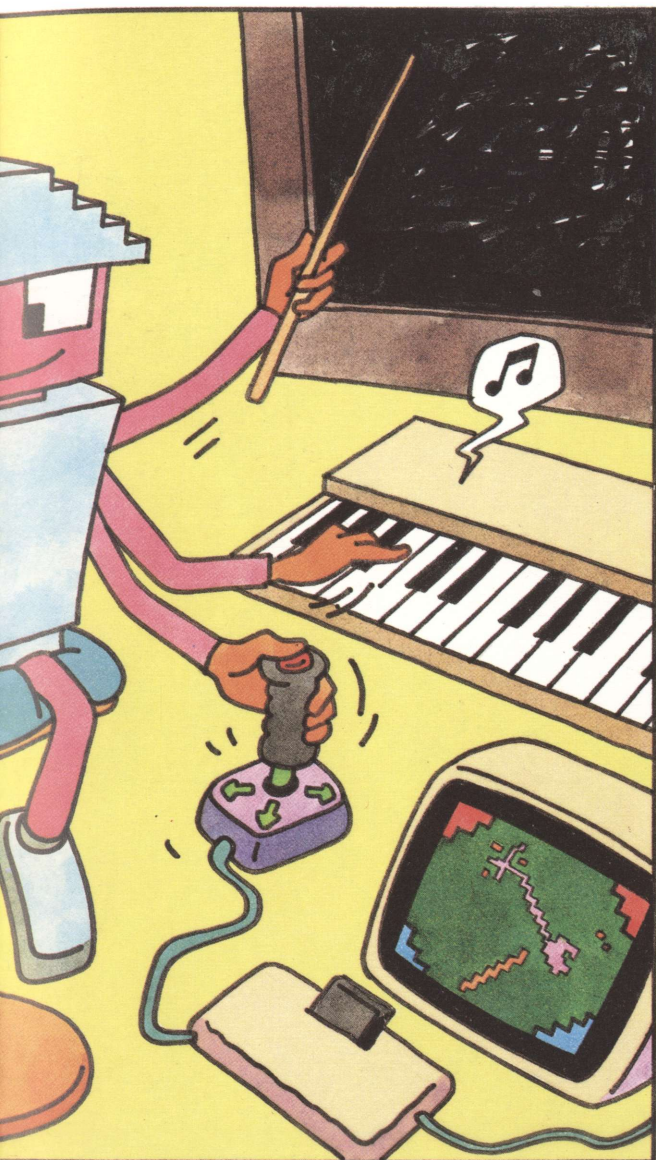
Chissà se von Neumann ha mai pensato che un giorno si sarebbe potuto portare il computer sul bordo della piscina... un computer portatile, naturalmente! In realtà, tutto questo nasconde il rischio che il calcolatore elettronico diventi una moda, invece di essere quello che è: uno strumento utile nelle piú diverse funzioni.

sappiamo benissimo, serviva a molto poco senza nemmeno un po' di software. E scrivere del software significava lavorare come agli albori della storia dei computer, quando si doveva programmare un bit alla volta nel linguaggio specifico della macchina. Una fatica capace di scoraggiare chiunque o quasi! Non i due Steven, certo, ma...

...Ma, ragionarono i due Steven, in giro per il mondo – o almeno per la California, tanto per cominciare – doveva esserci una quantità di gente come loro. Gente con la passione di costruirsi un microcomputer tutto per sé, ma senza la sconfinata pazienza che occorreva per partire da zero. Benissimo, conclusero i due Steven, supponiamo di fornire a questa tribú di entusiasti un microcomputer già costruito: con tutti i circuiti già saldati al loro posto, e magari anche con la tastiera già collegata e il cavo pronto per trasformare il televisore di famiglia in uno schermo video. E addirittura con un po' di istruzioni già registrate in memoria: con un semplice monitor già installato, per esempio. Oh, Steven, si congratularono i due, questa è una grande idea! Di sicuro per un prodotto simile riusciremo a trovare dei clienti... forse anche qualche decina. Magari addirittura un centinaio. Perbacco, forse potremmo anche guadagnare abbastanza da comperarci un buon impianto ad alta fedeltà!

Ovviamente, il posto per installare questa nuovissima industria c'era già: il solito garage di uno dei due soci. Mancavano i fondi per finanziare l'impresa: i fabbricanti di circuiti integrati pretendevano di essere pagati, prima di fare le loro forniture... be', dato che il garage serviva per costruirci i microcalcolatori, tanto valeva vendere la vecchia Volkswagen che prima ci stava dentro, no? Non avrebbe piú avuto una casa, comunque... Ah, già, mancava ancora una cosa. Un nome per il prodotto.

Dunque, un nuovo computer. Una di quelle sigle misteriose tipo "470" o "3081" o altre cose simili? No, avrebbe spaventato i clienti!

Il microcomputer ha piú braccia della dea Kali. Rischiamo di trovarcelo in casa, in ufficio o a scuola, che fa un po' di tutto: risponde al telefono, "suona" come un'intera orchestra, si occupa delle pulizie, gioca con i bambini, insegna... e poi, naturalmente, fa anche i conti. A quanto pare, l'unico limite alle applicazioni del calcolatore è dato... dalla fantasia umana!

Un nome fantascientifico? Diciamo, cose come "Ultratronix" o "Megafutu-

re" o nomi del genere? Be'... i due Steven diedero un'occhiata al circuitino che stavano mettendo insieme. Non aveva proprio l'aria di essere un "Megafuture", no. E se lo avessero reclamizzato come un "Ultratronix" da vendere per corrispondenza, probabilmente i clienti si sarebbero indignati, avrebbero reclamato i danni e preteso i quattrini di ritorno. No, quello era un oggetto semplice. Casalingo. Di poco prezzo. Aveva bisogno di un nome che ricordasse qualcosa di altrettanto semplice, casalingo e di poco prezzo. Per esempio... per esempio, una mela. Apple.

Era nata la Apple. Era nato il primo personal computer. Era nato un nuovo modo di considerare e di usare e di costruire i calcolatori elettronici.

Il primo modestissimo Apple ebbe un successo sconvolgente: i due giovanotti si trovarono sepolti sotto una valanga di ordini, e l'impresa letteralmente esplose fuori da quel garage che l'aveva ospitata. Bruscamente, ci fu gente disposta a investire dei soldi in quella nuova industria: nientemeno che i Rockefeller, pensate un po'! E fecero un ottimo affare...

Vediamo un po' di scoprire cos'è un personal computer oggi, e magari di capire perché ha tanto successo. Naturalmente, è un po' piú complesso di quel primissimo esemplare: anche in casa Apple ne sono comparsi tanti altri tipi! E anche fra i personal ce ne sono di piú modesti e di piú pretenziosi...

Una cosa sicura è il prezzo: un personal computer costa, be', diciamo, non piú di un'auto. I piú semplici costano addirittura come un motorino di buona qualità. Insomma, un individuo può permettersene uno senza considerarlo un autentico investimento: anzi, si può addirittura considerarlo quasi un gioco.

Poi, un personal computer è piccolino. Poco piú ingombrante di un televisore (tanto, di uno schermo video ha comunque bisogno!). Si può metterlo in un angolo del soggiorno, su uno scaffale in camera, su una metà della scrivania: in qualsiasi posto, ecco. E non ha bisogno di aria condizionata o di ambienti particolarmente confortevoli: non piú di chi lo usa, cioè!

E per di piú, un personal è "amichevole". Che cosa vuol dire? Significa che magari non è proprio facilissimo usarlo, ma che lui stesso vi dà una mano quando si tratta di imparare a farlo. Non occorrono mesi di addestramento, come quelli necessari per preparare al loro lavoro gli operatori di un centro di calco-

lo. Il sistema operativo può anche essere molto complesso e offrirvi una quantità di servizi diversi, ma almeno i piú essenziali riuscite a scoprirli (e a utilizzarli) senza troppa fatica.

Con un personal ci potete giocare. Potete scambiarvi software con amici sconosciuti sparpagliati nel mondo intero. Lo si può usare a scuola, magari per correggere l'ortografia del compito di inglese o per studiare meglio la storia antica (chi ha detto che i calcolatori elettronici si usano solo per fare i conti?). Evidentemente, serve anche in fabbrica. E in ufficio. È piú comodo e utile di un dizionario: quasi come la penna e un foglio di carta, piuttosto!

Il successo della Apple è stato certo il piú clamoroso: ma quanto a personal computer, ne sono nati centinaia di tipi!

Ricordate i vecchi totalizzatori elettrici, bisnonni del calcolatore elettronico? Mondo dello sport e computer non si sono persi di vista, in questo secolo: basta guardare la telecronaca di una gara importante per rendersene conto. I personal fotografati qui sopra, durante una gara di Formula 1, sono un esempio: servono per aggiornare i tempi, le posizioni di classifica, ma anche per scrivere sui tabelloni luminosi che comunicano al pubblico le notizie importanti, e addirittura per trasmettere informazioni a qualche calcolatore "remoto", collegato con una linea telefonica, che aggiorna le classifiche.

E le loro storie sono diversissime, come quelle di coloro che li hanno creati. Quella di lord Clive Sinclair, un geniale inventore britannico che da piú di vent'anni ha scommesso sull'elettronica e la miniaturizzazione, cominciando con una microscopica radio grande come una scatola di fiammiferi (che non ebbe successo) per arrivare a colossali successi come gli *ZX*, che sono stati i primi microcomputer europei a bassissimo prezzo, e poi lo *Spectrum* e infine il nuovo (e ambizioso) *QL*.

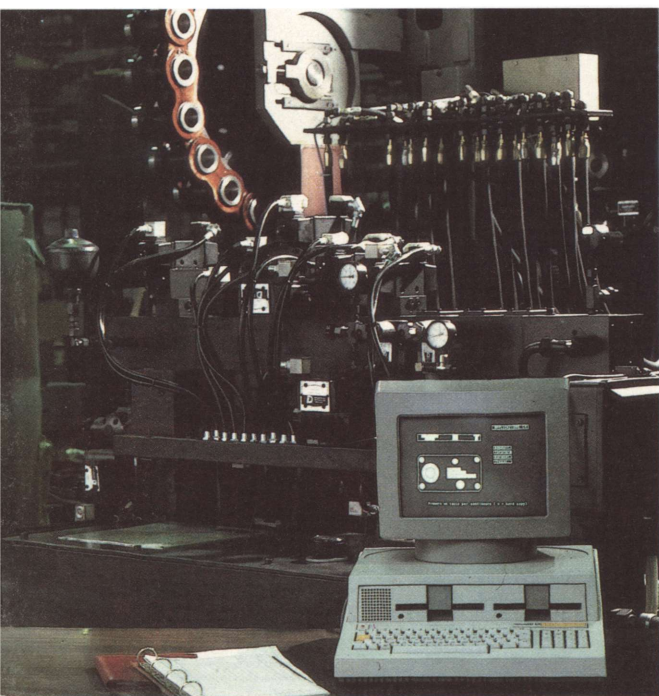
E la storia di una microscopica ditta di Oxford battezzata "Acorn" (ghianda), che da un giorno all'altro si trovò proiettata nel firmamento della notorietà e della ricchezza perché i suoi progettisti avevano vinto il concorso della BBC (la rete televisiva nazionale inglese) per il "microcomputer BBC".

Quella di una ditta chiamata Commodore, che dopo il primo semplice quasi-giocattolo, il *VIC20*, ha lanciato un oggetto abbastanza potente da essere un personal computer e abbastanza poco costoso da essere un computer domestico. E quella...

Un momento! Si parla di computer, no? E di successo? Pensate davvero che la piú grande industria di calcolatori elettronici sarebbe stata in un angolo, silenziosa, a guardare le avventure degli altri? Naturalmente no!

Anche in casa IBM si cominciò a pensare a un personal: be', inevitabilmente, l'idea era quella di una macchina un po' piú potente, un po' piú impegnativa, e un po' piú costosa, di quelle che il mercato offriva in quel momento. Comunque, una simile novità, cosí al di fuori delle tradizioni importanti della IBM, non poteva nascere nell'atmosfera austera e convenzionale dei vecchi laboratori di ricerca (vecchi... be'; si fa per dire! Vecchi quanto possono esserlo i computer!): l'IBM scelse un gruppo di scienziati fantasiosi e disposti a scommettere su qualche proposta audace e li

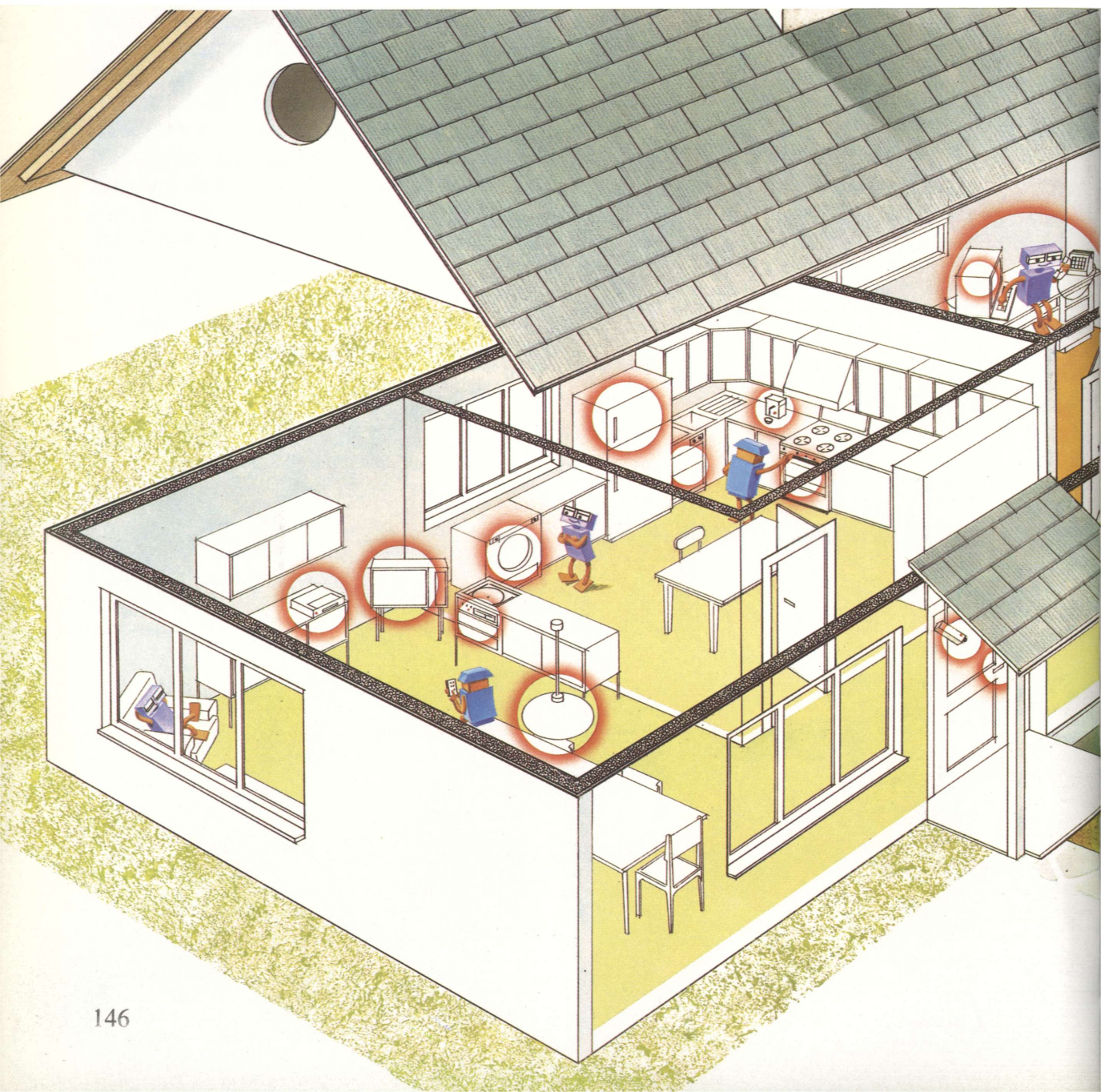
mandò in un piccolo centro di ricerca tutto nuovo, in mezzo alle paludi della Florida (si direbbe che gli esperti di calcolatori lavorino meglio, se il clima è mite e c'è una piscina a portata di tuffo...). Cosí nacque il personal computer IBM: già, ma come chiamarlo? Solo un gigante poteva avere il coraggio di un nome straordinariamente banale... anzi, di una sigla che pareva perfino anonima: *P.C.*, in altre parole, Personal Computer!

Attualmente, Apple e IBM sono i due giganti del personal computer: ogni momento sfornano una novità, eppure sono i loro concorrenti che presentano prodotti nuovissimi ma compatibili con le macchine dei due giganti ("compatibile" è una macchina che utilizza lo stesso software di un'altra senza batter ciglio... si fa per dire). Apple ha lanciato *Mackintosh* (anche Mackintosh è il nome di una particolare mela, molto saporita), un computer particolarmente adatto per scrivere testi, disegnare illustrazioni, comporre pagine di libri e cose simili. *P.C.* (IBM, se vogliamo dargli

A sinistra: con il personal, nelle fabbriche di computer è arrivata la produzione di massa. Quando i calcolatori erano pochi e grandissimi, li si produceva uno per uno: come una *Ferrari* o una *Rolls Royce*. Il personal, invece, è come una utilitaria: se ne devono produrre tanti, e in fretta. Ecco quindi le linee di produzione automatizzate... grazie all'uso del computer (vi sembra buffa la storia della macchina che ne produce altre simili? Von Neumann l'aveva prevista nel '50 o giú di lí).
Sopra: una linea di produzione Olivetti. Questi personal sono in fase di collaudo, che in gran parte è eseguito da altre macchine: una sola persona può controllare una quantità di computer.
A destra: gli stessi personal in un'aula del centro addestramento: una volta preparate le macchine, occorre preparare chi deve usarle!

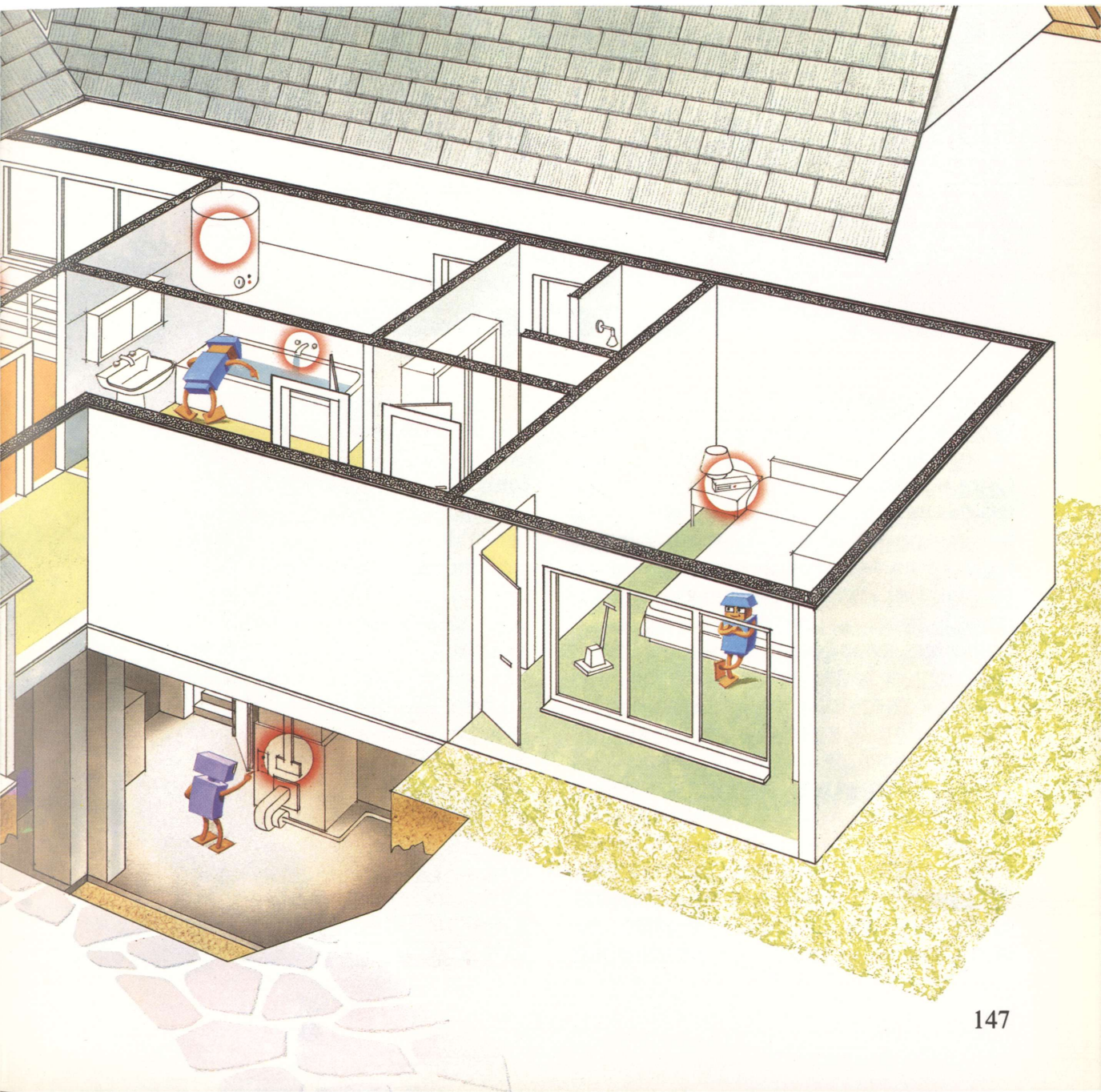
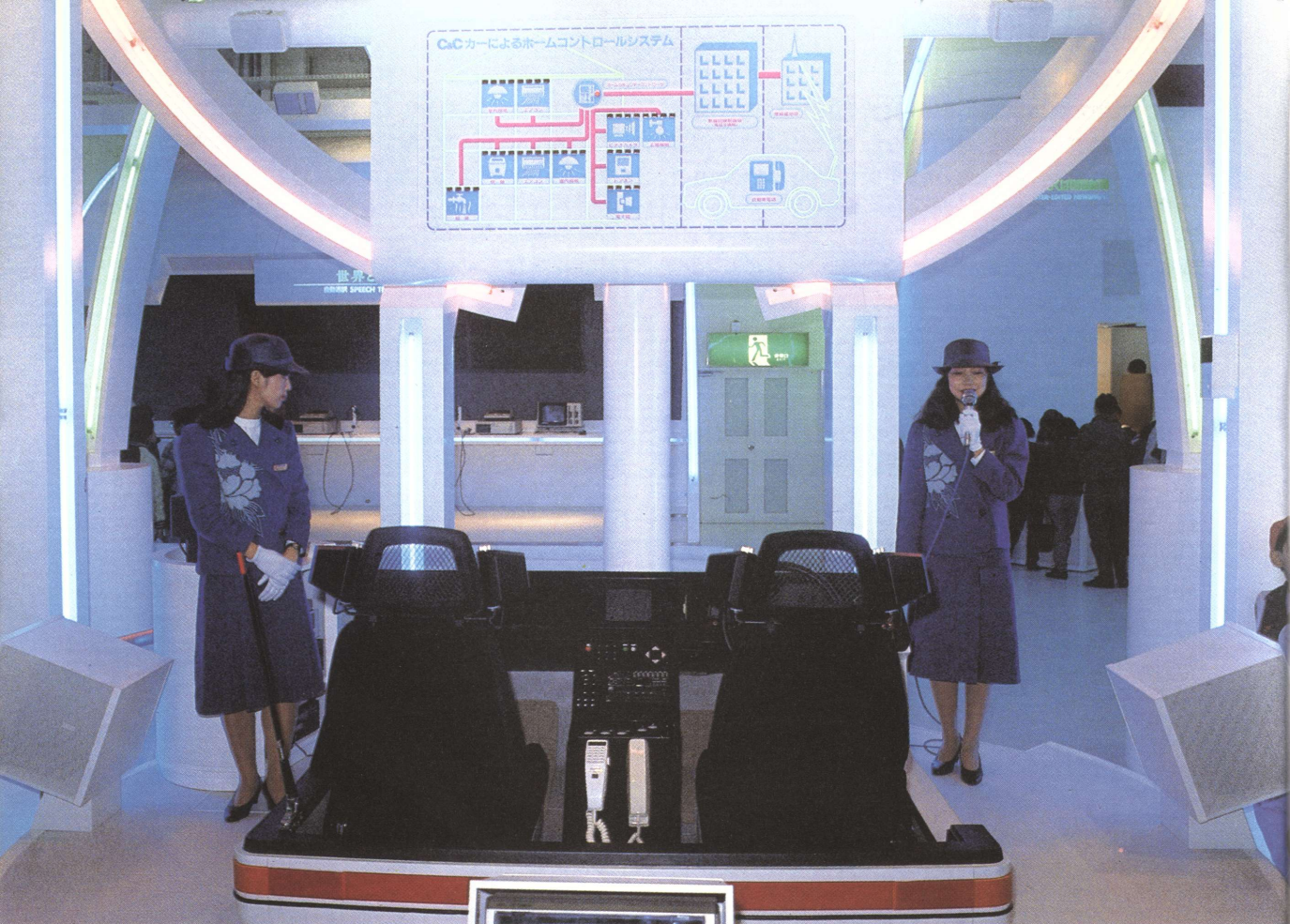
il cognome) si è ritrovato con un'intera famiglia fatta di computer piú o meno brillanti e furbi, capaci di dare le cose piú diverse: dal giocare a simulatore di volo, o "flight simulator" (un gioco nato dagli autentici simulatori di volo, quelli con cui si esercitano i piloti delle linee aeree) fino al controllare gli impianti industriali.

Ma intorno a questi giganti si sono moltiplicati infiniti altri personal, creati da grandi industrie esperte di calcolatori oppure da inventori che sperano di ripetere il successo di Steven Jobs e Steven Wozniak. I giapponesi puntano su macchine sempre piú piccole e piú potenti: computer grandi come un libro di medie dimensioni, da portarsi anche in auto o in treno per continuare a lavorare senza problemi. In giro per gli schermi passeggia la tartaruga di LOGO, il linguaggio inventato per far parlare i bambini col computer... Che, alla fin fine, sta diventando ogni giorno proprio piú personale. Si parla perfino di "crisi" perché ormai il mercato è saturo, proprio come se si trattasse di televisori!

Mille computer in giro per la casa

La padrona di casa ordina « Menu! », e la voce educata - con un tono appena un poco snob - replica obbediente "menu". Sullo schermo compare un elenco: "arrosti", "torte", e via di questo passo. La signora decide « Torte ». Sullo schermo appare un altro elenco: "pasta frolla", "sfoglia alla crema", "torta di mele"... e per ogni titolo si vede anche una bella immagine a colori di una crostata di mirtilli piuttosto che di una fragile millefoglie e cosí via. Se la cuoca non si perde in golose fantasticherie, sceglie, poniamo, torta di mele, e finalmente ecco la ricetta spiegata punto per punto. Poi, quando la signora ordina al forno « Apriti! », ecco che lo sportello si spalanca e il forno si predispone caldo alla temperatura giusta... e poi continua a lavorare secondo le istruzioni, mostrando sullo schermo come procede la cottura, finché tutto non è finito! E intanto,

la vocina educata ricorda "mancano solo tre minuti prima che la torta sia pronta", e poi "manca solo un minuto...".

Può darsi che questo forno non sia ancora in vendita in tutti i negozi, ma di sicuro esiste: è stato presentato ad alcune fiere di elettrodomestici e ha dimostrato la propria abilità cucinando degli ottimi pranzetti. Ma certo, avete indovinato! In quel forno è nascosto un microcomputer! Un piccolo e robusto calcolatore elettronico che ha registrato nella sua memoria tutte le informazioni dettagliate per la cottura dei vari piatti; che sa alla perfezione quanti minuti di cottura a 250 gradi occorrono alla nostra torta prima che si possa abbassare

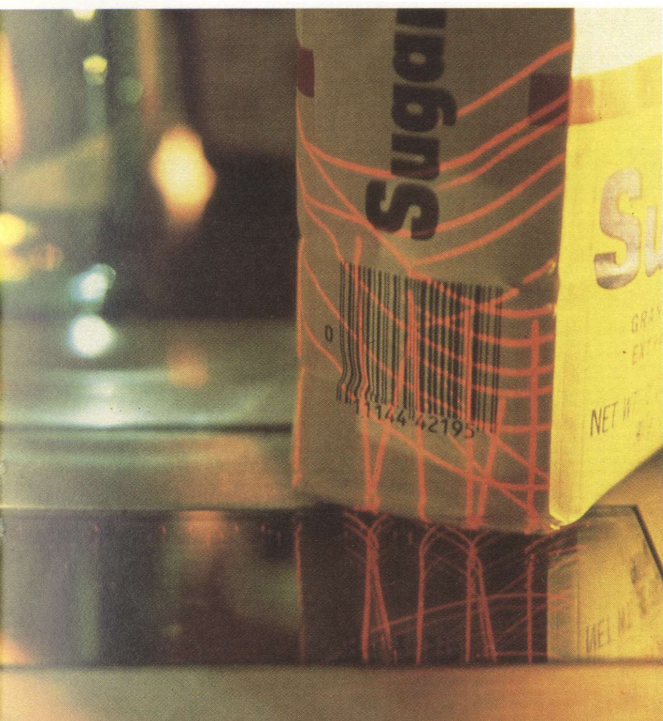
Una casa governata dal computer sarebbe proprio una comodità, e tutto lascia sperare che, fra qualche anno, il sogno diventi realizzabile! Sarà bello avere chi fa le pulizie, e ci prepara il pranzo, e l'acqua per il bagno e... Cosí noi avremo piú tempo... per giocare col computer, ovviamente!

un poco la temperatura, o quante ore a fuoco medio sono necessarie per cucinare un buon prosciutto, e via dicendo. Oltre ad essere collegato a un termometro (siamo piú precisi: a un “sensore di temperatura”), il microcomputer è collegato a un “sensore di umidità” che gli permette di seguire con maggiore precisione la preparazione del nostro pranzo. Insomma, non si corre il rischio di ritrovarsi con la torta carbonizzata!

Non è proprio come la cameriera-robot dei film di fantascienza (se non altro, il forno non si muove), ma poco ci manca. Di forni a microonde controllati da un piccolo computer nascosto ce ne sono già in vendita molti; marchingegni capaci anche di chiedere “quanti piatti?” quando la cuoca ordina « Minestra di fagioli » (per chi non lo sapesse, occorre piú tempo per scaldare due litri di acqua che per scaldarne uno solo!).

Questo è solo un esempio di “calcolatore nascosto” in giro per la casa. Ce ne sono altri rintanati nelle lavatrici, che si occupano di scegliere il metodo migliore per lavare una camicetta di seta piuttosto che un paio di blue-jeans molto sporchi... altri racchiusi nella lavastoviglie, nel frigorifero, addirittura nella macchina da caffè, combinata, perché no?, con una sveglia, in modo da avere un buon caffè appena fatto, nell'istante preciso in cui bisogna alzarsi! E magari, chissà, anche la cameriera-robot non è proprio un'idea fantastica... ma di robot parleremo piú avanti.

Dopo tutto, cucinare un pranzo è un lavoro che si può descrivere come si descrive, che so, la produzione di un'automobile o il funzionamento di una centrale elettrica (tutti casi in cui si usano

regolarmente dei calcolatori in aiuto agli uomini). Certo, se vogliamo fare un capolavoro da buongustai occorreranno anche esperienza, gusto e magari un po' di arte, ma se ci accontentiamo di un buon pasto senza pretese possiamo riuscire a scovare un algoritmo per prepararlo! E sarà anche piú facile trovare un programma per lavare dei jeans molto malconci, o per garantire che il nostro frigorifero non sprechi energia elettrica continuando a far funzionare il motore a pieno ritmo anche di notte, quando nessuno (o quasi nessuno) va ad aprire lo sportello, e quindi c'è meno dispersione di calore (anzi, di freddo...).

A sinistra: un'auto, presentata all'Esposizione Universale di Tsukuba, collegata (via radio) col computer di casa. Comodo, no? Si può ordinare al forno di accendersi, controllare che non ci siano malintenzionati alle prese con la porta...
Sotto: una macchina destinata ai supermercati: legge con un raggio laser il codice (e il prezzo) del prodotto, senza bisogno di intervento umano. Niente piú lunghe code alla cassa, dunque.
A destra: comoda una casa popolata di robot come questo, pronto a spalmarvi di senape il panino.

Il problema, se mai, è quello di costruire un computer che costi abbastanza poco: chi è disposto a spendere un capitale per un forno che strilla "attenzione, l'arrosto sta bruciando?". E poi, pensate che baraonda succederebbe in cucina, se all'improvviso tutti gli elettrodomestici si mettessero a chiacchierare: se la macchina del caffè dicesse "il caffè è pronto", mentre la lavatrice racconta "sto cominciando a risciacquare la biancheria", il forno annuncia "fra un minuto il pranzo è cotto" e il frigorifero proclama "il ghiaccio è fatto" e via dicendo. Occorre che gli ingegneri studino una cucina bene organizzata...

Non vi sembra abbastanza? E allora, ecco la "casa elettronica"!

Proviamo a vedere un esempio. Il computer che controlla la casa fa di tutto. Accende e spegne le luci automatica-

mente: non c'è piú pericolo che il lampadario resti acceso per tutta la notte nella sala da pranzo deserta (il computer verifica che non ci sia piú nessuno nella stanza, poi spegne tutto). Si assicura che porte e finestre siano chiuse (per questo, è collegato a minuscoli interruttori elettrici che "sentono" se le imposte sono aperte o chiuse). Apre la porta, comandato da una chiave elettronica di cui conosce il codice segreto. Suona la sveglia alla mattina. Chiama i pompieri se scoppia un incendio. Funziona da antifurto e chiama la polizia appena i ladri tentano di entrare e, se volete, potete affidargli il compito di fotografare tutti gli sconosciuti che suonano alla porta di casa, mentre voi siete lontani; può anche occuparsi di regolare il volume dell'impianto stereo o di mandare i comandi al televisore...

Fantascientifico? Nemmeno per idea! A parte quel che potete comperare nei negozi, una quantità di appassionati di computer, in giro per il mondo, si sono divertiti a costruire sistemi collegati al loro personal che si occupano di problemi come controllare l'antifurto o verificare che non ci siano fughe di gas (ci sono degli speciali sensori che rilevano la presenza di gas velenosi nell'ambiente). E molti proprietari di case di campagna hanno installato sistemi comandati da microcomputer che accendono il riscaldamento di casa semplicemente in risposta a una telefonata.

L'idea di telefonare a un computer vi sembra buffa? Ma i telefoni, oramai, sono diventati terra di conquista per i calcolatori elettronici! Non parliamo di quelli grandi, che "instradano" le chiamate telefoniche attraverso il mondo intero; ci sono microcomputer che fanno da segretaria telefonica, magari rispon-

A sinistra: il televisore cambia volto e diventa il terminale di un'intera rete di computer: non per nulla siamo nell'epoca della telematica!
Sotto: una pagina di *Videotel*, un servizio che collega il televisore al telefono, permettendo di ricevere informazioni anche da Paesi diversi.
In basso: in centrale, un operatore telefonico può "leggere" in ogni momento il tipo di servizio che avete chiesto.

dendo alle chiamate con la voce cortese di un "sintetizzatore vocale". O che fungono da maggiordomo, ripetendo la chiamata al numero telefonico che voi avete chiesto fino a quando qualcuno non si decide a rispondere.

E poi, naturalmente, non dobbiamo dimenticare quei sistemi - il "Videotel", il "Televideo" e via dicendo - che trasformano il televisore nel terminale di un grande sistema di informazioni, permettendoci di chiedere le notizie piú diverse a un grande calcolatore remoto e magari anche di dialogare con lui; in alcuni paesi, un sistema di questo tipo è stato collaudato per permettere anche a chi abita lontano dai centri abitati, o a chi per altri motivi non può frequentare le scuole regolari, di collegarsi con vere e proprie biblioteche registrate nella memoria di un grande computer, di ascoltare delle autentiche lezioni, di vedersi perfino correggere i compiti. I calcolatori, in casa, servono anche per portare in casa il resto del mondo...

C'è un computer in ufficio

Cent'anni fa, macchine per scrivere e dattilografe erano una grossa novità. Le prime erano curiosi trespoli metallici, e per battere sui tasti occorreva una certa forza (niente a che vedere col tocco leggero richiesto da una moderna macchina elettrica!), tanto che i medici riconoscevano una leggera deformazione alla punta delle dita, caratteristica delle dattilografe. Comunque, era già un bel progresso rispetto ai vecchi scrivani che copiavano laboriosamente a mano lettere e appunti!

Poi vennero i "dittafoni": una specie di parenti dei magnetofoni, in cui il capoufficio registrava su un cilindro magnetico le lettere e le pratiche che voleva far scrivere; le segretarie, poi, ascoltavano quelle registrazioni esattamente come una normale dettatura e scrivevano a macchina... come al solito. In realtà, per molti anni le invenzioni che riguardavano il lavoro d'ufficio miravano ad aiutare il capo, non la segretaria: nel caso del dittafono, per esempio, il marchingegno permetteva all'avvocato o al dirigente d'azienda di dettare lettere o rapporti anche mentre era a casa sua, o in viaggio, o magari sul campo da golf, invece di obbligarlo a prendere degli appunti per poi fare tutto il lavoro in ufficio. L'unica rivoluzione che riguardasse direttamente la segretaria fu quella della macchina per scrivere elettrica: niente piú dita a spatola, se non altro.

Certo, finché i calcolatori elettronici rimasero oggetti costosi, delicati e difficili da usare, non aveva molto senso pensare di infilarne uno fra la scrivania e il classificatore: uno di quei mobili-schedario dove si tengono bene ordinate in tante cartelline tutte le pratiche dell'ufficio. Eppure, proviamo a pensarci: un bel numero dei lavori che si fanno in un qualsiasi ufficio si potrebbero far meglio, piú in fretta, e con meno fatica, usando un computer!

Cominciamo proprio dal classificatore: lo sappiamo perfettamente, un archivio può benissimo essere trasferito su un computer. In questo caso si tratta di un archivio un po' particolare: magari non molto grande, ma con una quantità di riferimenti da una pratica a un'altra, e viene aggiornato di continuo. Niente che una macchina non possa fare, intendiamoci: si tratta di programmarla in modo piuttosto intelligente, però.

Un momento, fra quei documenti ce ne sono alcuni la cui importanza non è solo nel contenuto, ma anche nella forma: nella particolare carta usata (pensiamo alla carta bollata, per esempio), e nelle firme originali con cui sono firmati, o magari nelle fotocopie che li accompagnano. Naturalmente, da qualche parte dovremo pur continuare ad avere un "archivio di carta" in cui conserveremo tutti questi documenti: ma oramai sappiamo che nulla ci impedisce di trasferire addirittura le loro riproduzioni – trasformate in numeri da un elaboratore di immagini – nella memoria di un archivio elettronico.

In un grande ufficio c'è anche il problema di trasferire informazioni da un punto all'altro: messaggi che vanno dall'ufficio contabilità a quello del personale, pratiche che girano per i corridoi (naturalmente, in mano a qualcuno), appunti lasciati sul tavolo del capoufficio o della segretaria. Un bello spreco di tempo e di fatica, no? Per non parlare del rischio che qualcosa vada perduto...

E poi, evidentemente, c'è la contabilità. Certo, fin dall'inizio una quantità di uffici usarono macchine calcolatrici: magari di quelle vecchie, meccaniche, che facevano un baccano infernale: però occorreva sempre che il ragioniere scrivesse a mano colonne su colonne di cifre, badando bene a non confondere il Dare con l'Avere, a non sbagliare i bilanci, a non dimenticare i residui passivi o altri importantissimi e misteriosi elementi. Oh, sí, certo, le grandi aziende

Che confusione, in ufficio! Carte che girano da una scrivania all'altra (a rischio di perderle), archivi disordinati, dattilografe innervosite davanti a una massa di lettere da scrivere... e il centralino che suona in continuazione, e la contabilità da tenere in ordine... per fortuna oggi è arrivata l'"automazione d'ufficio"!

affidavano già i loro bilanci a dei computer, ma... ma erano grandi aziende, appunto! Potevano permettersi il costo di un centro di calcolo (e, non dimentichiamolo, il costo di tutti quelli che ci lavoravano...). Tutto sta cambiando, ora, grazie al fatto che i computer – lo si è detto ormai milioni di volte – costano molto meno, sono poco ingombranti e sono anche amichevoli. Ma non soltanto grazie a questo!

Cominciamo con tutti quei benedetti documenti che vanno, vengono, restano dimenticati su qualche scrivania, devono essere continuamente aggiornati e controllati e annotati. Registriamoli tutti nella memoria di un computer, dunque... Il nostro ufficio è molto grande, dite? Occupa diversi piani di un palazzo? Niente paura: ci saranno dei terminali nei vari locali, da cui potremo interrogare il calcolatore per lavorare sulle pratiche che ci interessano. Meglio ancora, avremo diversi calcolatori, sparpagliati qua e là, dove ce n'è bisogno, ognuno impegnato nel suo particolare compito, ma ognuno collegato agli altri

con delle linee telefoniche speciali, o magari con quelle fibre ottiche che trasmettono segnali di luce. E i nostri computer parleranno fra di loro, trasmettendosi tutte le informazioni di cui hanno bisogno, comprese le fotocopie, chiamiamole cosí, dei documenti. Insomma, le povere segretarie non saranno piú costrette a correre in giro per i corridoi... le macchine formeranno quella che si chiama una "rete locale", una vera e propria rete che avviluppa l'intero ufficio.

L'altro lavoro grosso è, senza dubbio, scrivere a macchina... anzi, per usare un modo di dire molto tecnico, elaborare dei documenti. Per una brava segretaria, questo vuol dire molto di piú che battere sui tasti: provate semplicemente a guardare una lettera scritta da un'autentica professionista. L'indirizzo è posto nel suo angolino preciso, la data è in alto a destra, e ogni paragrafo inizia un po' in dentro rispetto al margine di sinistra, e logicamente non ci sono correzioni o ribattiture antiestetiche. Preparare una pagina con tanta cura non è cosa da poco: richiede esperienza, e attenzione, e magari anche un pizzico di fortuna. Guai se un mignolo distratto sfiora un tasto, rovinando tutto!

Potete giurarci: la macchina per scrivere è cambiata un bel po', da un secolo a oggi. Si cominciò una ventina d'anni fa con i cosiddetti "word processor": cioè "elaboratori di parole". I primi non erano intelligenti: erano solo dotati di memoria. Una memoria magnetica, tanto per cambiare: un nastro oppure una "scheda magnetica", cioè un cartoncino ricoperto di un materiale magnetico. La dattilografa scriveva a macchina il testo, controllava che fosse perfetto, e a questo punto lo registrava sulla scheda magnetica. Dopo, avrebbe potuto infilare la scheda nella macchina, battere un tasto di comando, e la macchina, da sola, avrebbe riscritto la pagina, piú e piú volte, al comando di quel singolo tasto. Molto comodo, nel caso che si fossero volute scrivere lettere circolari personalizzate, senza inviare quei soliti brutti fogli ciclostilati: la segretaria poteva limitarsi a riscrivere personalmente solo l'indirizzo! E comunque, si poteva produrre una pagina perfetta, priva di correzioni...

Ma questo, lo capite subito, non era che il principio. Oramai erano arrivati i microprocessori, e grazie a loro la mac-

china per scrivere diventò intelligente.

Oggi, un word processor assomiglia da vicino a un personal computer, anzi, è un personal computer. Si dovrebbe dire piuttosto che qualsiasi personal computer è capace di fare della elaborazione di testi, e che un computer da ufficio è proprio un personal computer, magari con qualcosa in piú.

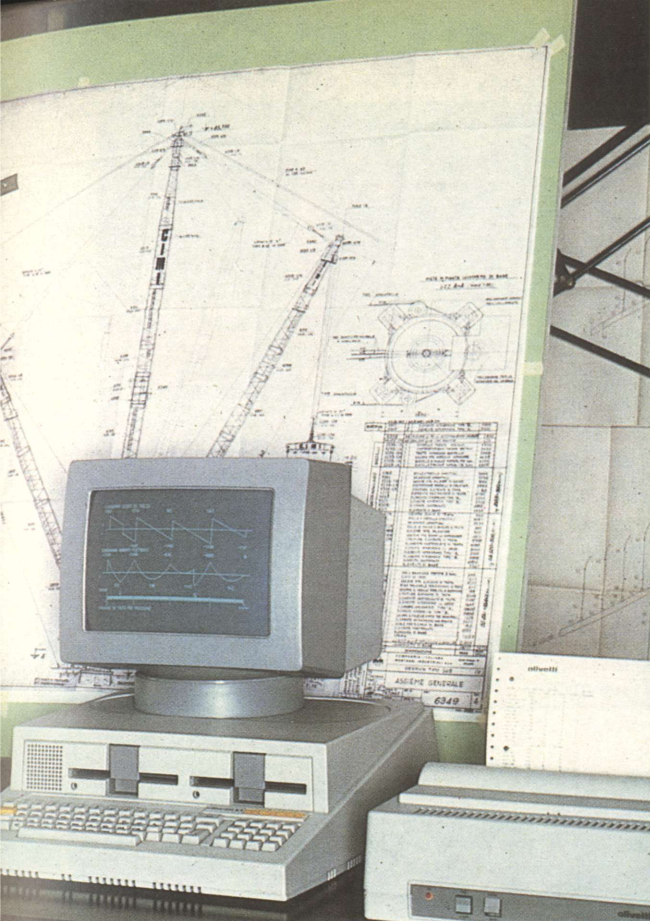
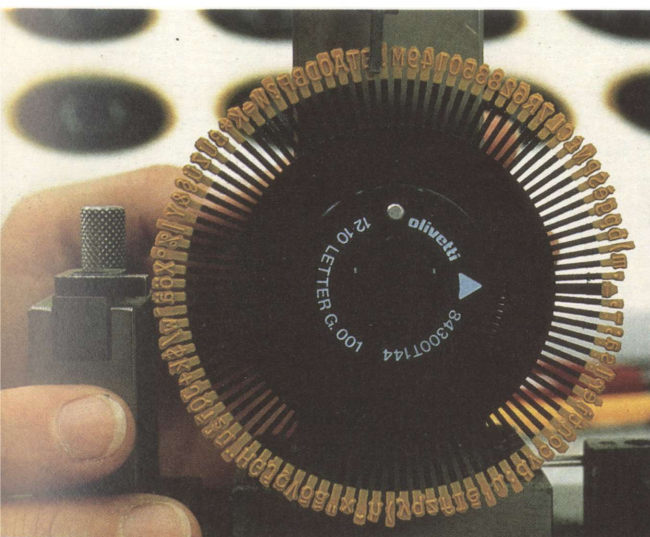
Dunque, un word processor ci serve per scrivere i nostri testi in modo che appaiano bene ordinati, senza correzioni antiestetiche, impaginati quasi come delle pagine a stampa. I programmi per scrivere (o almeno, alcuni programmi non troppo complicati) ci sono anche sui personal piccolini, quelli piú diffusi: anzi, uno molto semplice potreste provare anche a scriverlo da voi, questa è una specie di sfida! Vediamo come funziona. Se volete usare la macchina per scrivere col computer, vi sedete davanti alla tastiera, con il vostro bravo schermo acceso, e cominciate a dare i primi comandi: per esempio, spiegate che vo-

Sopra: l'ultimo nipote del telaio Jacquard, un computer che "progetta" il disegno di un tessuto. A fronte: una novità che, in futuro, risparmierà una quantità di viaggi e di fatica agli uomini d'affari, la "teleconferenza". Non occorre piú che venti persone si spostino per incontrarsi, poniamo, a Roma: ognuno se ne sta nel suo ufficio, collega il proprio terminale... ed è come se fossero tutti insieme! Si vedono, si parlano, discutono...

lete scrivere una lettera: lo si è già visto, che una lettera scritta in modo professionale dev'essere preparata in un modo un po' speciale... qualunque dattilografa lo sa. Benissimo: la professionalità ce la metterà la macchina, secondo i nostri comandi! Si ordina al calcolatore "indirizzo" (questi comandi servono alla macchina per sapere come dovrà predisporre le parole sulla pagina, alla fine) e poi si scrive l'indirizzo del destinatario; poi "data", e subito di seguito la data. Poi si ordina "testo", e si comincia a scrivere il testo vero e proprio. Il programma che stiamo utilizzando si chiama "editor", e si limita ad accettare tutto quello che scriviamo... be', non soltanto questo. Ci permette anche di fare correzioni, modifiche, cancellature su quello che abbiamo già scritto; ci permette di aggiungere delle frasi o di toglierne altre. E, naturalmente, registra nella memoria del calcolatore tutto quello che noi scriviamo (con le opportune modifiche, ogni volta che vogliamo cambiare qualcosa!). Cosí, nella memoria sono registrate non soltanto le pagine del testo, ma anche tutti i comandi che poi serviranno al programma di stampa: comandi come quelli già visti, indirizzo e data e cosí via, ma anche comandi piú abituali come "a capo" oppure "lascia due righe bianche" o magari "scrivi sottolineando tutta la riga".

Finalmente, abbiamo scritto la nostra lettera e siamo soddisfatti del testo; a questo punto, il programma editor ha finito il suo lavoro. Chiamiamo invece il programma "di stampa", ordinandogli "impagina e stampa"... ed ecco la nostra lettera uscire su un foglio di carta! Certo, su un piccolo personal computer avremo una stampante di qualità modesta; in un ufficio, invece, ci sarà una stampante di buona qualità: come minimo, una specie di macchina per scrivere, di quelle dette "a margherita", o forse addirittura una "stampante a laser" o qualche altro oggetto altrettanto avveni-

ristico. Da quella stampante la nostra pagina esce scritta con la stessa eleganza di una pagina preparata in tipografia: le righe sono allineate anche lungo il margine destro, invece di avere quell'apparenza frastagliata che hanno i testi scritti da una dattilografa maldestra (il programma provvede a infilare degli spazi bianchi in piú, nel testo, esattamente come faceva un tipografo con le vecchie macchine tipo "linotype", cosí che alla fine ogni riga termina esattamente contro la stessa linea del bordo). E l'indirizzo della lettera è scritto nel suo riquadro, e lo spazio per la firma è ben centrato in fondo al foglio...

In realtà, possiamo ottenere molto di piú, dal nostro computer. Possiamo fornirgli tutto un archivio di indirizzi, e un programma speciale provvederà a scrivere lettere personalizzate a tutte le persone elencate. Magari, possiamo prendere un grosso archivio in cui le va-

Sopra: il "vecchio" e il "nuovo" si sposano, in un ufficio tecnico. Il vecchio è il tavolo da disegno col tecnigrafo; il nuovo è il personal!
Sotto: questo strano oggetto si chiama, in gergo, "margherita": serve per macchine stampanti, collegate a un computer, che producono testi eleganti quanto una macchina per scrivere tradizionale.

rie persone sono contraddistinte da qualche caratteristica - il lavoro, l'età, la città in cui abitano - e ordinare alla macchina di mandare quella particolare lettera solo a tutti gli studenti di scuola media o a tutti i dentisti con piú di quarant'anni. Se siamo impegnati in un lavoro molto speciale, possiamo predisporre dei programmi capaci di preparare i documenti nel modo preciso che occorre a noi.

Pensiamo a un notaio, per esempio. I documenti che escono dal suo studio hanno piú o meno tutti la stessa forma e appartengono ad alcuni tipi ben definiti: documenti che sanciscono l'acquisto di un appartamento, o la vendita di un negozio, o che garantiscono l'autenticità di una firma... Ogni volta, però, devono essere scritti con i nomi degli interessati, e con le date giuste, gli indirizzi esatti e cosí via. Ecco un computer che si occupa di queste cose: le segretarie hanno bisogno solo di dare i comandi e di inserire le informazioni adatte, volta per volta, e poi dalla stampante uscirà il documento voluto, senza errori e con molto meno spreco di fatica di quanta ne occorresse un tempo!

E la segretaria di un dirigente d'azienda? Ha dei problemi un po' diversi. Certo, i rapporti che deve preparare per il suo capo devono essere impaginati per bene, col titolo e il nome dell'autore sulla prima pagina e via dicendo: però, occorre anche controllare l'ortografia di parole astruse, e garantire che i riferimenti a libri, articoli, magari a brevetti o prodotti, siano tutti esatti. E, per finire, è probabile che qualche pagina debba essere decorata con disegni e grafici complicati.

Altro che macchina per scrivere... la sua è una stazione di lavoro. Le permette di fare anche i disegni. È fornita di programmi che verificano l'ortografia. È dotata di un vero e proprio schedario di riferimento a libri e pubblicazioni, o magari è collegata a un computer lonta-

no che fornisce tutte le informazioni necessarie. Un computer perfettamente al corrente sulle novità della chimica, poniamo, oppure delle operazioni di Borsa, o magari delle sentenze e delle leggi... insomma, una macchina che consente alla segretaria di essere davvero "perfetta"! E la stazione di lavoro è programmata in modo da accettare dei comandi dati nello stesso linguaggio che si usa tutti i giorni, invece di qualche sigla misteriosa: anzi, c'è qualche stazione di lavoro che accetta addirittura alcuni comandi impartiti a voce!

La super-macchina che "scrive sotto dettatura" non è proprio una realtà, ma l'ufficio è cambiato un bel po' dai tempi delle vecchie, rumorose macchine per scrivere e delle dattilografe col colletti-no bianco inamidato...

Sopra: qualcuno l'ha già incontrato a scuola, Amico Personal... un insegnante sorridente, no? A destra: è... bene, è l'immagine che Amico Personal si fa di un'allieva. Per la precisione, è l'immagine digitalizzata di una bambina che impara la geometria usando dei semplici solidi: immagine costruita usando una telecamera digitale collegata a un computer. E il computer sta insegnando la geometria alla bambina...

Il computer a scuola

Una ventina d'anni fa – che, nella storia dei calcolatori, è quasi come dire prima del diluvio – una ventina d'anni fa, dunque, un grande studioso inglese che si chiamava Seymour Papert disse: «Non devono essere i calcolatori a programmare i bambini, ma i bambini a programmare i calcolatori».

Allora, era un'affermazione rivoluzionaria (per molti, era piú semplicemente un'idea da pazzi). D'accordo, qualcuno pensava di utilizzare il computer per l'insegnamento, ma si trattava di esperimenti costosi, che coinvolgevano una quantità di specialisti, proprio come certi esperimenti di laboratorio: solo che al posto dei topolini bianchi c'erano degli studenti...

Ma, come si dice nei vecchi romanzi, procediamo con ordine. A quei tempi si era cominciato a parlare di "Computer-Assisted Instruction", cioè di istruirsi con l'aiuto del computer: ma come?

I primi casi coinvolsero gli ambienti piú diversi: c'erano delle esperienze fatte nelle scuole dei quartieri piú poveri di New York, e altre che avvenivano nei corsi di perfezionamento delle Accademie Militari americane. Doveva esserci qualcosa in comune, certo, qualcos'altro che non fosse il computer!

Cominciamo con l'osservare che gli studenti seduti davanti ai terminali del calcolatore studiavano materie di ogni tipo: grammatica, storia, matematica, o magari anche qualche materia difficilissima che aveva a che fare con la strategia o con l'astronomia o con altre cose complicate. Qualunque cosa fosse, occorreva impararla: ecco cosa c'era in comune, prima di tutto! E come fa, un insegnante, per controllare che i suoi allievi abbiamo davvero imparato? È chiaro: assegna compiti e lezioni, fa domande e ascolta risposte... qualcosa che può benissimo fare anche un computer.

Fare i compiti e rispondere alle domande: ecco cosa toccava agli studenti seduti davanti ai terminali. Il computer faceva una domanda, una domanda di grammatica, per esempio, e poi suggeriva alcune risposte possibili: certo, non si poteva permettere allo studente di rispondere proprio a caso, il povero calcolatore non avrebbe saputo come fare a capirlo (non dimentichiamo che la memoria del calcolatore è finita, e che non riesce a superare certe incertezze del parlare comune, certe ambiguità come nella celebre frase « lo spirito è forte ma la carne è debole », che un computer una volta interpretò traducendola « gli alcoolici sono molto buoni ma l'arrosto lascia a desiderare »). Lo studente sceglieva la risposta che secondo lui era giusta, e poteva capitare che il computer allora gli dicesse "bravissimo, puoi studiare la prossima lezione", oppure che osservasse bonariamente "non c'è male, ma dovresti ripassarti gli ultimi problemi" o, peggio ancora, che protestasse "perbacco, hai dimenticato proprio tutto! Ristudia gli ultimi tre capitoli!". E magari, per chiarire la spiegazione, sullo schermo del terminale compariva una faccia allegra ("molto bene!") oppure un viso inferocito ("non ti ricordi proprio niente!").

In questo modo, uno studente ha quasi un servizio di lezioni private, no? Perché, naturalmente, basta poco per fare un passo di piú: il computer – non

appena ha scoperto quali sono le lacune nella preparazione del suo allievo – può intervenire presentandogli direttamente le pagine del testo che sarebbe opportuno rileggersi. E magari può sottolineare i punti piú importanti, far lampeggiare le parole-chiave: insomma, può far di tutto per costringere l'allievo a imparare la lezione!

Progettare i programmi che permettono al computer di "giocare al professore" (ma sarebbe molto meglio dire "aiutare il professore") è un problema niente affatto banale: perché occorre che il computer aiuti lo studente, che lo guidi attraverso la giungla dei compiti e delle lezioni, che gli suggerisca come continuare... ma senza suggerire troppo, è chiaro! Deve essere un insegnante abile, e pieno di risorse, e con una cultura profonda, ma anche un poco severo, quando occorre.

Fino a quando non comparvero mi-

A sinistra: Amico Personal può entrare in classe e insegnarci qualcosa fingendo che sia un gioco... non offendiamoci, lo fa anche con gli adulti: un gioco è tanto piú divertente di una lezione!
Sopra: Amico Personal può aiutarci nell'ora di ginnastica, occupandosi delle nostre classifiche.
A destra: se poi vogliamo scrivere una relazione o un tema, o addirittura fare un complicato disegno, la stampante può aiutarci.

crocomputer e personal computer e non si scoprí che i calcolatori potevano parlare fra di loro, collegati da reti telefoniche o anche via radio, l'istruzione con l'aiuto del calcolatore rimase un costoso esperimento: certo, erano stati sviluppati dei sistemi commerciali - il piú famoso si chiamava *Platone*, come il filosofo greco - ma occorrevano pur sempre macchine molto grandi e costose per utilizzare quei sistemi, macchine che poche scuole (e sicuramente nessun privato!) potevano permettersi.

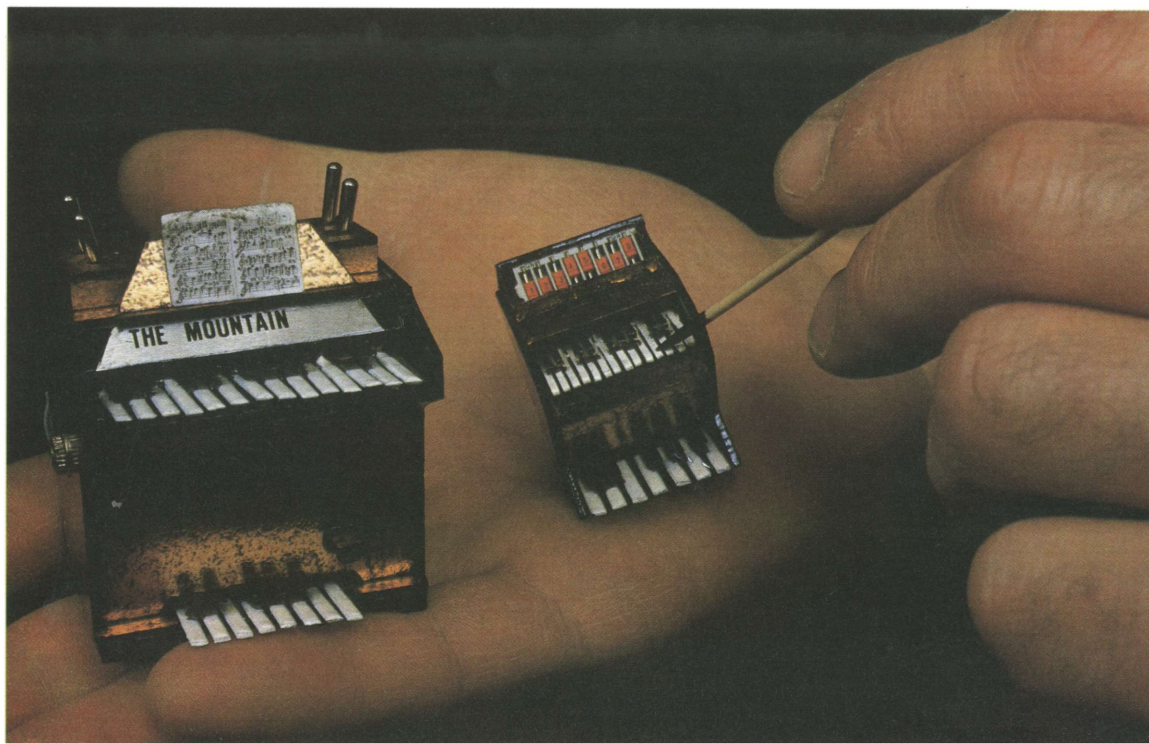
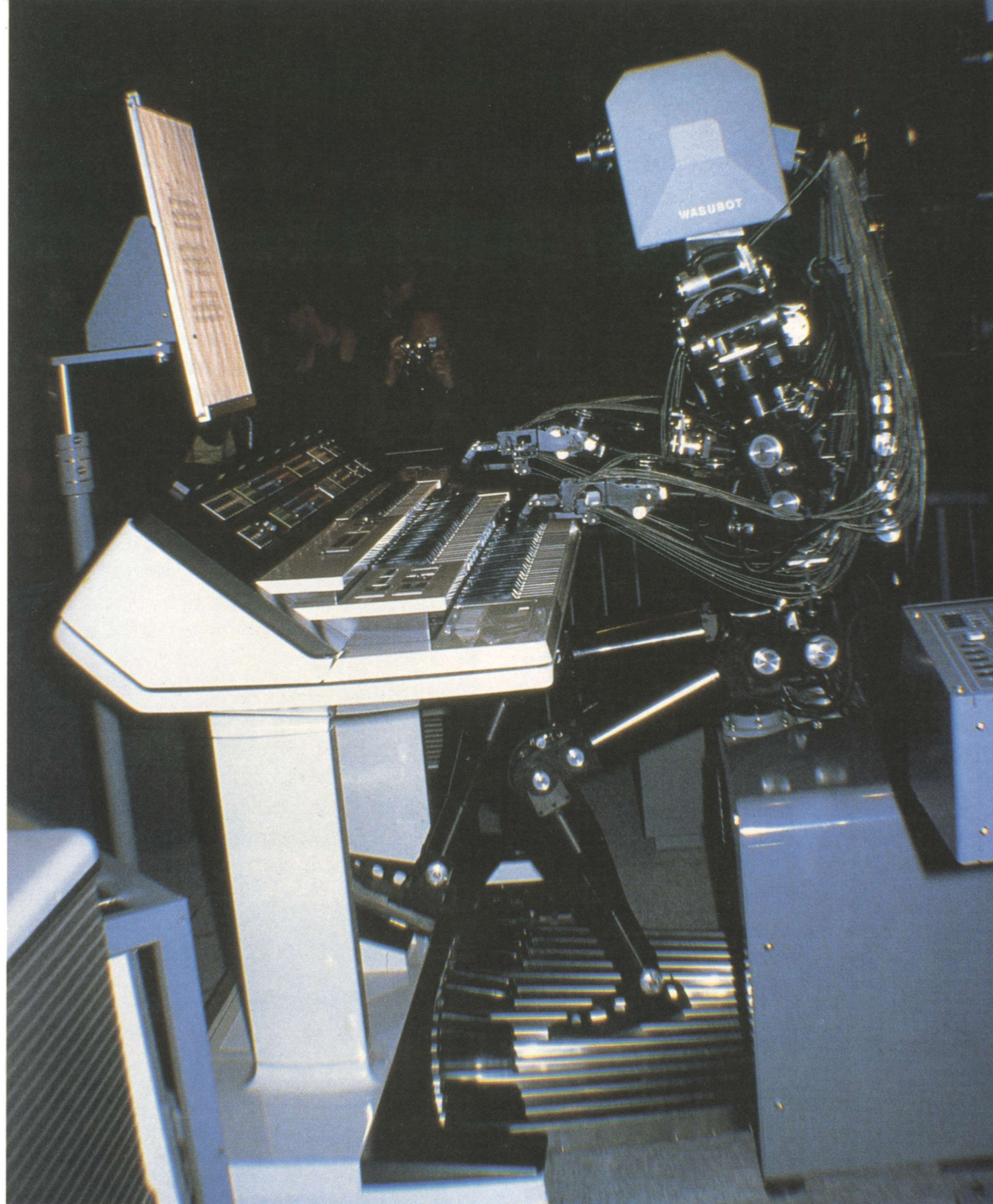
Ed ecco arrivare i microcomputer, e nella loro scia anche il personal computer. Oh, certo, non è possibile che un piccolissimo calcolatore registri nella sua memoria un'intera biblioteca come faceva *Platone*: ma, organizzando per bene le lezioni e a patto di non confondere i vari dischetti - quelli con le lezioni di geometria con quelli che riportano gli esperimenti di chimica, per esempio - si ha ancora un buon professore, capace di dare una mano in qualsiasi materia! Non solo: è possibile anche costruire un laboratorio per fare esperimenti di ogni tipo - per scatenare reazioni chimiche senza pericolo che esploda la casa, oppure per controllare le leggi della fisica - e tutto senza bisogno di strumenti costosissimi... basta ricorrere al gioco (che oramai conosciamo molto bene) della simulazione.

Oggi, si può pensare di avere un microcomputer-assistente in classe, ma perché non a casa? Chi è costretto da una malattia a restarsene chiuso in ca-

quella terrestre, per esempio, su Marte o su Venere!).

Uno strumento musicale è semplicemente un oggetto che crea queste onde: e la loro frequenza stabilirà nota e tono (piú alto, piú basso), mentre lo strumento caratterizzerà la forma dell'onda. Mille cause possono provocare un'onda sonora: il vibrare della membrana di un tamburo o della corda di una chitarra, la pressione dell'aria in uno strumento a fiato... e, come tutti hanno già intuito, anche cause elettriche.

Tra la fine dell'800 e l'inizio del '900 – quando l'elettricità faceva notizia sulle prime pagine dei giornali – comparvero i primi bizzarri strumenti musicali di tipo elettrico. Nel 1902, un certo Thaddeus Camill, un avvocato americano con la passione della musica e della scienza, creò un prodigioso *Telharmonium*: prodigioso per le dimensioni, se non altro! Era un marchingegno che pesava duecento tonnellate, nientemeno: in pratica, un grosso cilindro cosparso di denti a diverse distanze, che ruotava in un campo magnetico; i fenomeni elettrici che ne nascevano provocavano la nascita di onde sonore a frequenze che variavano con la posizione e la velocità. Certo, non era uno strumento molto comodo da usare (anche se Camill proponeva di abbonarsi alla sua musica utilizzando, per riceverla, le linee del telefono): e, infatti, destò molto interesse in teoria, ma poco in pratica.

Passarono alcuni anni: con le valvole termoioniche nacque l'elettronica, ed ecco il primo autentico strumento elettronico: il *Theremin*, inventato nel 1920 da un russo che si chiamava Thermen. Fondamentalmente, il principio utilizzato era molto simile a quello usato oggi, e non si allontanava poi molto da certe idee che servono per costruire una radio, ad esempio. È possibile costruire (allora, basandosi sulle vecchie valvole termoioniche, oggi, servendosi dei piú moderni transistor) dei circuiti detti "oscillatori", che generano delle onde elettromagnetiche di varia frequenza. Se le frequenze sono quelle udibili (da circa 30 a circa 20 000 herz, o "oscillazioni al secondo" che dir si voglia), mandando queste onde a un amplificatore e a un altoparlante sentirete un suono. Tutto qui... naturalmente, se non vi accontentate di un'unica nota fissa (che sarebbe molto noiosa) dovrete fare in modo di variare quell'oscillazione! Leon Ther-

**A sinistra: i piú piccoli computer musicali del mondo, prodotti a Strasburgo (molti secoli fa, sulla cattedrale di Strasburgo fu montato uno dei primi automi musicali d'Europa...).
Sopra: il robot pianista dell'Esposizione Universale di Tsukuba, che legge la musica grazie ai suoi "occhi" da telecamera e suona manovrando tasti e pedali con "dita" e "piedi" perfettamente articolati. Piú modestamente, si può fare musica elettronica usando il proprio personal; del resto, anche senza volerlo, tutti oggi ascoltiamo musica elettronica "composta" con le macchine piú diverse!**

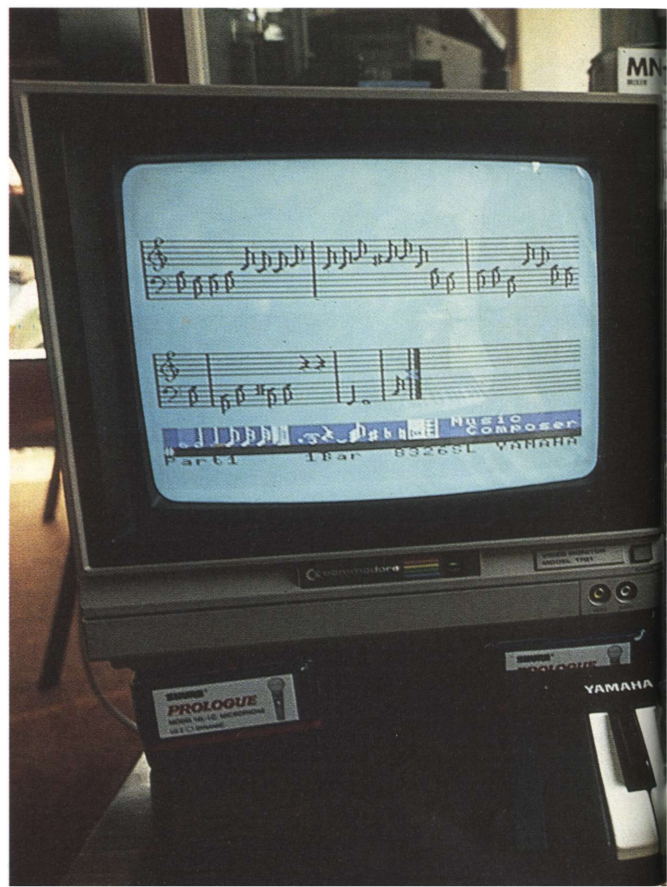
men, nella sua bizzarra macchina, mise due piastre metalliche a cui il musicista avvicinava le mani cosicché, a seconda della loro posizione, variava la frequenza delle oscillazioni e variava il suono. Era un suono strano, un po' extraterrestre, e infatti questo strumento fu usato per le colonne sonore di molti film di fantascienza.

Cosí era stata aperta la via per gli organi elettrici ed elettronici: dal primo organo Hammond, costruito nel 1935 con ruote dentate che giravano in un campo magnetico, fino ai piú moderni organi elettronici usati da gruppi, band, ragazzi appassionati di musica, e anche da compositori come Keith Emerson.

Il fatto è che, con questi strumenti, c'è ancora un uomo che crea la musica scegliendo note, tonalità... un uomo che può scegliere fra un numero limitato di forme d'onda che imitano - anzi, simulano - il suono di alcuni strumenti. Ma ecco i "sintetizzatori musicali"!

La macchina, ora, costruisce il suono sulla base dei comandi che riceve da una tastiera (come accade per i Moog) o da qualche altro controllo, come ad esempio un nastro perforato, e realizza una forma d'onda qualsiasi, anche una mai sentita. La "forma di un suono" che non è né quello di un violino né quello di un sax o di un vibrafono o di alcun altro strumento tradizionale. Il primo sintetizzatore, realizzato in America nel 1950 o giú di lí, era una macchina enorme, con grandi pannelli costellati di interruttori, lampadine, cavi: insomma, tutto l'armamentario della stregoneria elettrica di quei tempi. Quanto a capacità di creare suoni, voci musicali, timbri di strumenti... be', quel monumento era forse un po' meno brillante di un comune (oggi) *Commodore 64*, ma, quando si ha a che fare coi computer, a questi fenomeni ci si abitua!

Dunque, abbiamo uno strumento elettronico capace di generare dei suoni, e quindi della musica, e abbiamo il calcolatore elettronico capace di comandare questo strumento (oggi, in realtà, anche i generatori di suoni si sono miniaturizzati fino a diventare dei semplici chip). Possiamo programmare il computer perché suoni un qualsiasi brano, inviando i comandi opportuni al generatore di suono. Possiamo decidere frequenza, ampiezza, forma d'onda... se invece di un semplice generatore abbiamo collegato al computer un autentico sintetizzatore, e se invece di costringere il musicista a programmarlo in modo strano gli diamo anche un'autentica tastiera, be', non solo abbiamo un nuovo strumento, abbiamo un'intera nuova orchestra, con un sound mai sentito prima! Oppure possiamo dotare il computer di uno schermo su cui il musicista disegna la forma dell'onda che vuole sentire, e il calcolatore gli crea la musica...

Ma... ma non si è parlato di composizione, anche? Attenzione, non ci aspettiamo che il calcolatore elettronico sia completamente originale. In realtà, si tratta di illustrargli con grande dettaglio il metodo per costruire un brano musicale: il contrappunto con cui elaborare un semplice tema musicale, ecco. E cosí il computer svilupperà il tema "alla maniera di...": di chi aveva sempre usato quel metodo, di chi aveva applicato in quel modo le regole del contrappunto. Anni fa, alcuni scienziati hanno spiegato a un grosso computer quali erano le

Sotto: *Mackintosh*, alla nascita, avrebbe dovuto essere un personal "da ufficio", ma poi *Mac* (per gli amici) si è trasformato in uno strumento musicale grazie a un programma che gli permette di "creare" musica, oppure di riprodurre della musica già registrata in memoria.
In basso: un altro personal (un *Commodore*, questa volta) che può diventare uno strumento musicale. Si può usare la solita tastiera oppure si può collegare una "autentica" tastiera musicale: e il personal diventa un'intera orchestra!
In basso a destra: Amico Personal miete successi sia come compositore che come musicista dunque: non ci resta che aspettarlo alla prova del canto!

regole che usava Bach, quando scriveva la sua musica: Bach, in un certo senso, è il piú "scientifico" dei grandi compositori classici. Per essere piú precisi, gli studiosi hanno tradotto per il computer tutta la musica di Bach, e hanno lasciato che fosse la macchina a scoprire le regole: quelle che Bach preferiva, quelle che usava piú spesso. Poi hanno permesso che fosse il computer a scrivere un pezzo nuovo, e...

Ne venne fuori una musica strana. D'accordo, era sicuramente "alla maniera di Bach", questo l'avrebbe detto chiunque, ma era musica che Bach non avrebbe mai scritto. Non fu un gran successo, dopo tutto. Forse il computer può essere uno splendido strumento, ma gli manca la scintilla del compositore... com'è perfettamente logico!

E magari qualcuno si è dimenticato che la musica occorre anche scriverla su uno spartito, e stamparla per bene? Non bisogna pensare che questo sia un lavoro da nulla, una questione di pochi minuti: disegnare a mano uno spartito è

una fatica lunga e delicata, e ottenere dal disegno un buon cliché adatto a essere stampato è ancora piú difficile. Ai suoi tempi, un celebre filosofo, Jean Jacques Rousseau, si guadagnò di che vivere per un po' di tempo proprio trascrivendo spartiti musicali! Ma per quanto riguarda il nostro calcolatore elettronico, lo spartito è qualcosa che può essere descritto esattamente come si descrive una pagina stampata, o una fotografia anche complicatissima: e poi, basta una macchina stampante abbastanza raffinata - una stampante a laser, per esempio - e ci ritroveremo davanti uno spartito riprodotto alla perfezione. Forse vi sembrerà un risultato molto meno affascinante che suonare, ma è senz'altro molto utile!

Mille giochi

Chi non ha mai provato un videogioco, o un "computer game", o almeno un flipper furbo, alzi la mano. Nessuna mano alzata? C'era da aspettarselo!

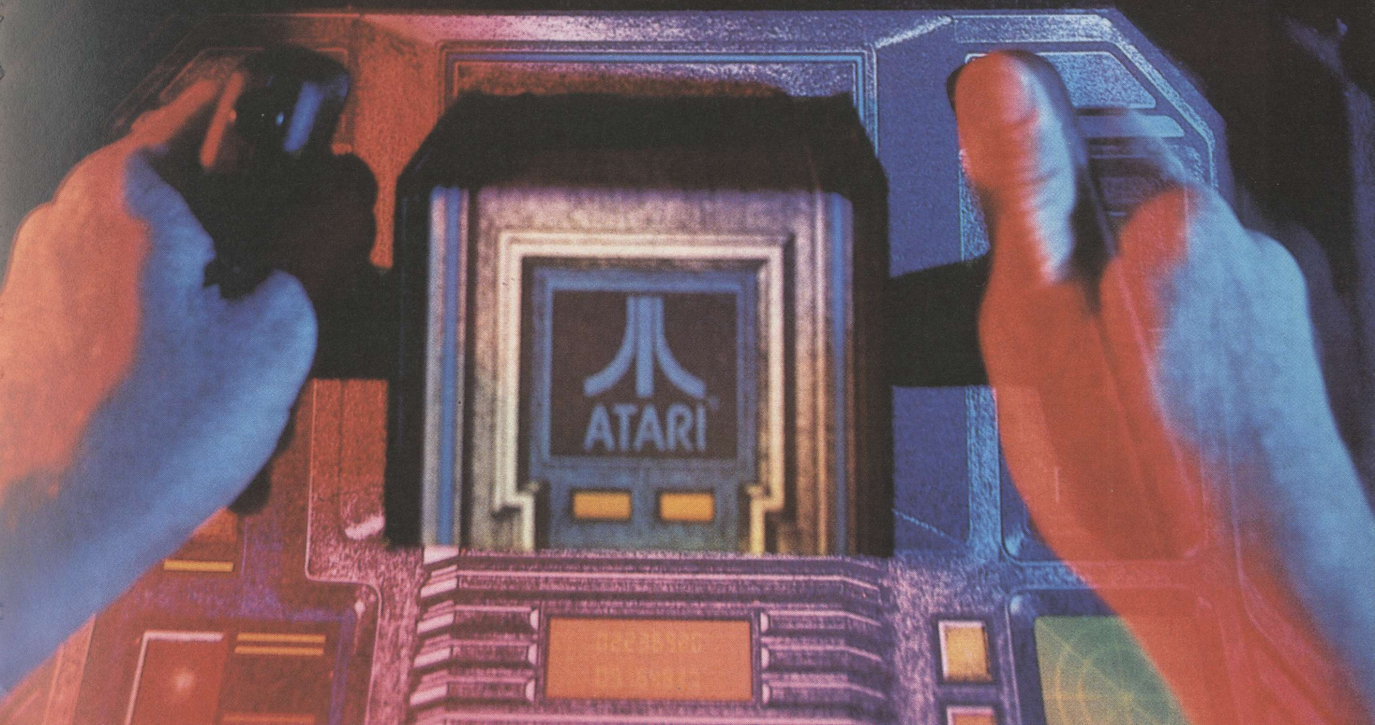
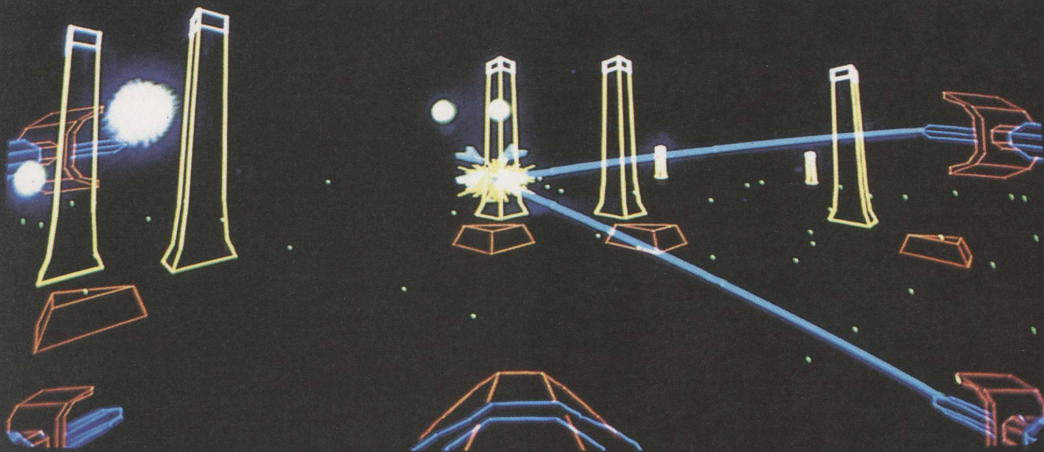
Con i computer, si è cominciato a giocare molto presto: ma naturalmente, finché le macchine costavano care e servivano solo per lavori importantissimi e magari anche segreti, gli scienziati si vergognavano ad ammettere che le usavano per divertircisi e sostenevano che, in realtà, stavano tentando di risolvere difficili problemi di intelligenza artificiale. Di conseguenza, i giochi che si facevano erano quelli degli scacchi o altri giochi intellettuali: di quelli che hanno bisogno di memoria e conoscenza di complicatissime regole...

Il gioco degli scacchi col computer lo si fa ancora oggi, è vero: solo che oggi basta un calcolatore piccolo, un microcomputer, e ci sono giochi furbi che chiedono al giocatore qual è il suo "livello" e gli si oppongono con abilità adeguata (adeguata a batterlo!). Ma di giochi ce ne sono tanti altri...

Proviamo a vedere un po' tutti i tipi. Ci sono i giochi "di strategia", proprio come gli scacchi. Ci sono quelli "di probabilità": come la roulette, per esempio. E ci sono i giochi "d'avventura": i piú divertenti, almeno per dei ragazzi... e poi, naturalmente, ci sono quei giochi che si possono fare con un piccolo home computer, e quelli che richiedono sistemi piú complicati, soprattutto per costruire delle immagini brillanti, accompagnate da musiche e suoni misteriosi: i giochi da sala-giochi, insomma (in inglese si chiamano *arcade games*). Una popolazione talmente numerosa che è difficile ritrovarcisi: e pensare che il primo videogioco (un ping-pong molto rudimentale, che si chiamava *Pong*) comparve sul mercato solo nel 1973! E il celeberrimo *Space Invaders*, con i suoi mostriciattoli extraterrestri che tentavano di invadere la Terra fra esplosioni di missili e cannonate, è nato nel 1978!

Space Invaders è stato il nonno di tutta una serie di giochi di abilità: giochi in cui il computer si oppone all'uomo, e lo batte regolarmente, in realtà. Il programma del calcolatore disegna sullo schermo una miriade di mostriciattoli - di aerei nemici, o di belve nella giungla - che sbucano da ogni parte, piú o meno a caso, in modo che il giocatore non riesca a prevedere dove comparirà il suo prossimo nemico. Nei primi esemplari del gioco, certo, i marziani erano molto rudimentali, ci voleva una buona dose di fantasia per trasformare quegli informi ragnetti che sobbalzavano in giro per lo schermo in autentici alieni venuti dallo spazio! In cambio, si trattava di giochi poco costosi, che si potevano trasfe-

La Atari è stata la prima ditta a lanciare i videogiochi con grande successo, ma questo non l'ha aiutata ad evitare poi grossi problemi. Il fatto è che appena si affermarono i primi videogiochi, comparvero i giochi al computer, e poi i giochi col videodisco, e poi... magari domani useremo gli ologrammi per creare dei mondi fantastici in tre dimensioni!

SCORE
2,792
5
SHIELD
3 WAVE
TOWERS
16
50,000 FOR SHOOTING ALL TOWERS
ATARI

rire senza grossi problemi anche sul piccolo computer di casa...

Ma i giochi al computer piú avvincenti sono quelli d'avventura. Quando affrontate uno di questi giochi, vi trovate subito a rispondere a una sfida: siete entrati in un castello incantato, o in una caverna sottomarina, oppure siete a bordo di un'astronave che si muove nello spazio profondo, e dovete affrontare un pericolo che vi chiede immediatamente una decisione. Dall'angolo dell'oscura segreta spunta un drago, per esempio: che fate? Oppure la vostra astronave si trova immersa in una nube di asteroidi che minaccia di distruggerla: il computer vi dice che potete:

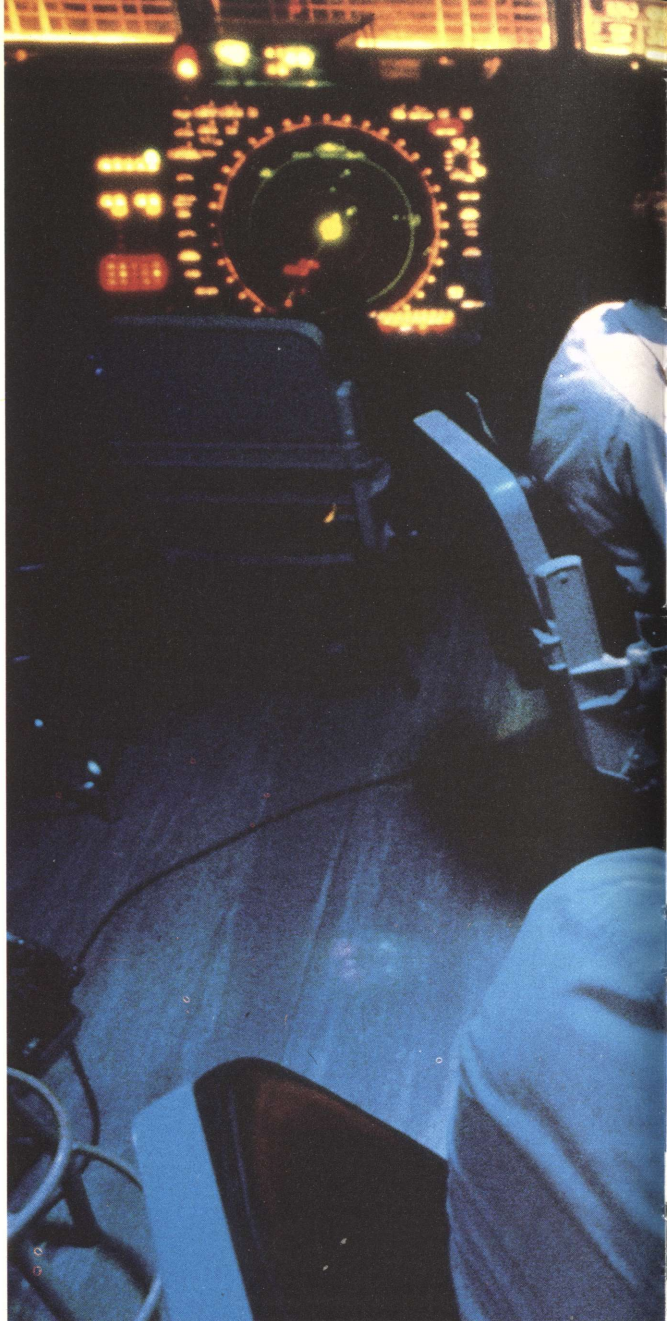
A: azionare i retrorazzi e tentare di sfuggire, oppure

B: bombardare gli asteroidi col cannone-laser, sperando di distruggerli, o

C: comandare un trasferimento molecolare, col rischio di disperdersi nello spazio (nessuno sa cosa sia un "trasferimento molecolare", meno di tutti colui che ha inventato il gioco, ma è una frase di sicuro effetto, no?).

A questo punto, decidete per il trasferimento; e il computer vi racconta pronto: "Siete riusciti a sfuggire e vi trovate sul pianeta Tau Omega. Avete conquistato sei anni-luce. Sul pianeta vivono gli Abetoidi, che hanno forma di albero e sono capaci di strangolarvi in un attimo: quello che potete fare è..."

E via di questo passo. Prima o poi, fatalmente, un improbabile essere extraterrestre distruggerà la vostra astronave: ma l'importante è essere riusciti ad accumulare una gran quantità di punti, prima che si verifichi la catastrofe. Fra gli appassionati, ci sono gare a distanza: e si sa che Dave Brozn di Lincoln, Nebraska, ha fatto seimilacinquecentotré punti prima di essere distrutto da un Rettiliano... questo senza che si sappia minimamente chi è Dave Brozn, logico!

Un gioco d'avventura è già abbastanza divertente anche se si svolge solo a

parole, con la narrazione che si sgomitola sullo schermo: è come avere un libro che si anima e vi risponde. Ma ce ne sono che vi presentano un autentico film d'animazione, con tanto di effetti speciali in tre dimensioni! Per il momento, certo, sistemi cosí eleganti sono disponibili solo nelle sale-giochi: ma chissà che presto non diventino accessibili anche sul computer domestico...

Vediamo un po' di scoprire come

Nelle sale-giochi trovate dozzine di videogiochi: i piú nuovi, i piú curiosi. Oramai ci sono degli autentici maestri che li progettano, per esempio, gli esperti della Lucas Film, quelli che hanno creato gli effetti speciali per la serie di *Guerre stellari*.

funzionano. Il computer, inevitabilmente, dev'essere fornito di una "base dati" che prevede tutte le possibili situazioni in cui il giocatore può cacciarsi; magari, alla base dati è accoppiato un qualche

sistema che gli esperti chiamano "di generazione casuale": un po' come se gettassimo dei dadi per scoprire quale sarà la prossima avventura. Cosí, non succederà che ripetendo due volte lo stesso gioco ci ritroviamo a ripercorrere due volte la stessa identica storia: il calcolatore si incarica di cercare a caso il prossimo passo, tra tanti possibili.

Per ogni situazione che richiede l'intervento del giocatore, la macchina prevede un certo numero di risposte possibili: risposte che potete dare scrivendole sulla tastiera, o manovrando un "joystick" che rappresenta il comando della vostra astronave. Da ogni risposta, nella situazione attuale, la macchina calcola la prossima avventura... gettando nel quadro, a caso, dragoni e alieni con cui il giocatore dovrà sbrogliarsela.

Questo per quanto riguarda la trama dell'avventura: e per l'animazione, come si fa?

Ci sono almeno due alternative sul

Una panoramica di Epcot, il luogo dove un calcolatore si prende cura di voi in ogni momento. Già quando fondò Disneyland, Walt Disney "scommise" sull'elettronica, e i suoi successori hanno seguito le sue orme. Disneyworld, in Florida, straripa di giochi elettronici di ogni tipo, ed Epcot - la città del futuro - è un autentico regno dei computer e dei robot.

mercato: anzi, come sempre capita, da due le possibilità diventano tre. Grafica col computer, sostengono alcuni esperti. Dischi laser, ribattono altri esperti. L'insieme di tutte e due le tecniche, propongono altri ancora...

Su un disco laser (chiamatelo disco ottico, se preferite) sono registrate una quantità di immagini televisive colorate, brillanti, bellissime: ogni immagine è una pagina del libro di avventure memorizzato sul disco. Fate una mossa del vostro gioco, e subito il computer calcolerà qual è la pagina corrispondente: ed ecco la nuova immagine sullo schermo, dettagliata come nel piú splendido film

di fantascienza. In pratica, per il calcolatore si tratta di fare una ricerca in un archivio... anzi, in molti giochi si utilizza proprio un archivio costruito con sequenze di veri film di fantascienza (provate a cercare gli originali di qualche gioco disponibile vicino a casa...). Per esempio, ci sono battaglie spaziali in cui, guidando la vostra astronave, dovete colpire le astronavi nemiche per non essere distrutti: e sullo schermo del televisore compare lo zoom della nave nemica, e vi sembra davvero che i nemici vi stiano sparando addosso!

Molto bello, vi ribattono gli appassionati di computer graphic: ma sul disco laser potete trovare solo un insieme di immagini fissate a priori al momento della costruzione: dopo una mezz'ora di gioco le avrete viste tutte, e il gioco finirà... Invece, se usate i computer graphic, con i microcomputer piú nuovi e piú potenti potrete costruirvi un autentico film d'animazione sempre nuovo, creato sul momento per rispondere all'avventura che voi state giocando! Potrete cambiare il punto di vista nella sala del castello incantato, e spostarvi disinvoltamente da un asteroide all'altro, e modificare la prospettiva della foresta mentre l'attraversate... insomma, potrete costruirvi ogni volta un mondo che non sarà mai del tutto uguale a quello in cui vi siete persi ieri. E vedrete sempre una quantità di oggetti muoversi intorno a voi, cosa che renderà il gioco ancor piú appassionante e realistico (e ancor piú difficile da vincere).

E la terza possibilità? Ma è evidente! Potreste utilizzare gli sfondi perfetti e dettagliati che vi offre un disco laser, e sovrapporvi le immagini create sul momento dal calcolatore con un gioco di grafica. Insomma, potete cercare di avere il meglio di ambedue i metodi, ecco!

Quale sarà il gioco del futuro, in definitiva? Bene... perché non provate a inventarne uno, invece di continuare a giocare con quelli già "vecchi"?

Un parco di divertimenti d'eccezione

C'è un mondo di giochi che pullula di computer e di robot. Com'è quasi inevitabile, è un mondo di Disney.

Si tratta del parco di divertimenti piú nuovo e piú avveniristico: è in Florida, si chiama Epcot ed ha aperto le porte al pubblico solo nel 1982.

Andandoci, cominciate ad avere a che fare col computer fin dal momento in cui volete chiedere delle informazioni: sparpagliati qua e là ci sono degli schermi televisivi su cui lampeggiano le parole: "Informazioni: toccate qui". Già, perché quelli sono terminali di computer, ma terminali molto particolari. Non occorre essere degli esperti per usarli... non occorre nemmeno premere un tasto, perché basta toccare lo schermo! Un sistema come questo, possono usarlo anche i bambini dell'asilo. Lo schermo "sente" il vostro gesto e reagisce fornendovi le notizie richieste (lo potete vedere nella foto qui sotto). Supponiamo che abbiate toccato il riquadro che parlava di ristoranti: ecco apparire un elenco di tutti i ristoranti di Epcot. E se a questo punto toccate il titolo "Ristorante Italiano", ecco che sullo schermo appare l'immagine di un'allegra pizzeria piena di gente, con un cameriere che sventola il menú... la cosa vi attrae? Toccate lo schermo, e questo vi frutta un bell'ingrandimento del menú.

E poi...

Poi, ve ne andate a passeggio fra i padiglioni di Epcot. Chi è quel vecchio signore col buffo vestito antiquato? Sembra proprio Benjamin Franklin, l'inventore del parafulmine... no, un momento, Franklin è morto da quasi due secoli! Eppure si muove, parla, ammicca... È un robot, naturalmente. Un robot che si tiene continuamente in contatto col grande centro di calcolo che controlla tutta Epcot. I calcolatori centrali sanno in ogni istante dove si trovano i vari robot e che cosa stanno facendo, e, se per caso uno si guasta, i calcolatori si affrettano a farlo sedere in un angolo, come farebbe qualsiasi essere umano che si sente male!

A questo punto, decidete di visitare, ad esempio, il Padiglione dell'Energia. Il sistema d'informazione vi dice prima quanto è lunga la coda davanti alla porta... ma finalmente riuscite a entrare. C'è un trenino fatto di piccole vetture aperte: non appena è al completo, se ne parte da solo, e vi porta prima a vedere un film, poi per un tortuoso percorso fra vulcani in piena eruzione e dinosauri che si avvicinano minacciosi, poi...

Dietro a tutto questo, nascosto in una sala di comando, c'è un insieme di computer. C'è un sistema che controlla i trenini; un sistema che comanda le eruzioni vulcaniche e i mostri preistorici (quando non ci sono visitatori, anche il mondo preistorico è silenzioso e immobile!). Un operatore, seduto davanti a uno schermo, tiene d'occhio quel che succede...

"Dietro le quinte", a Epcot, significa "in mezzo ai calcolatori".

Nuove espansioni

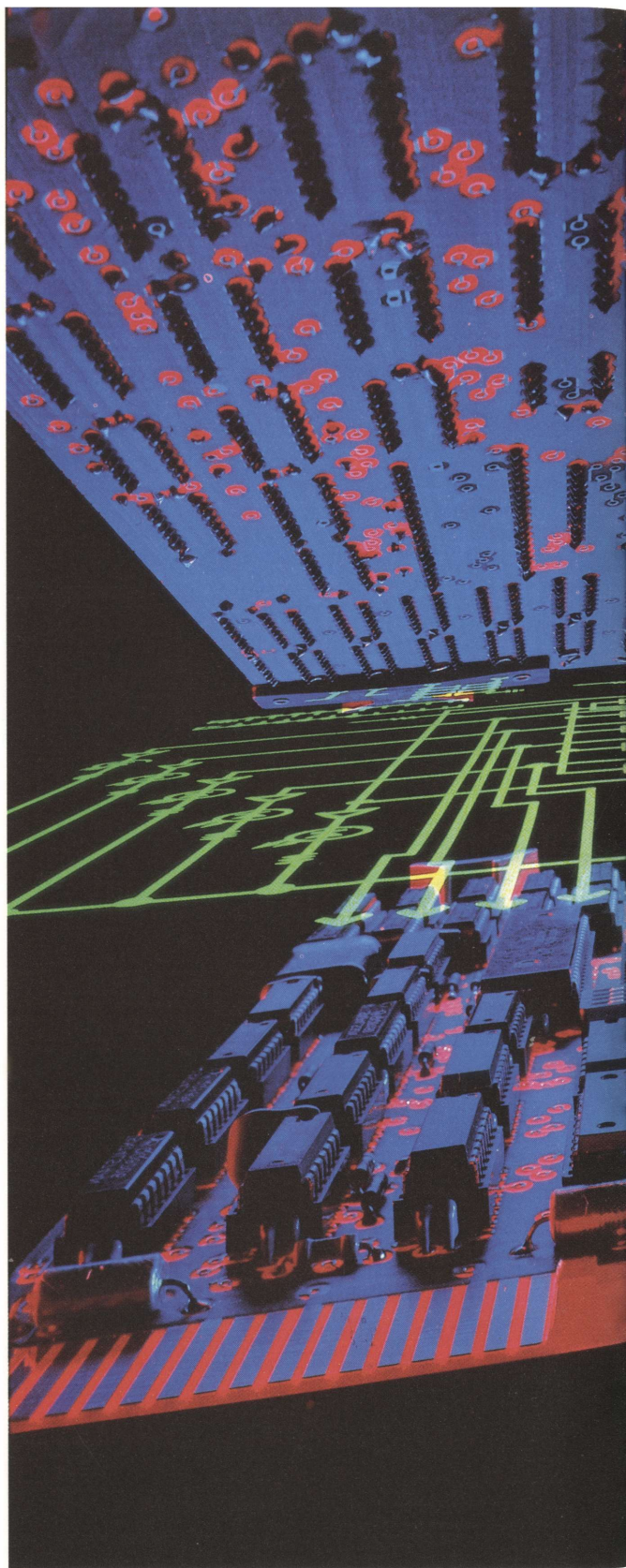
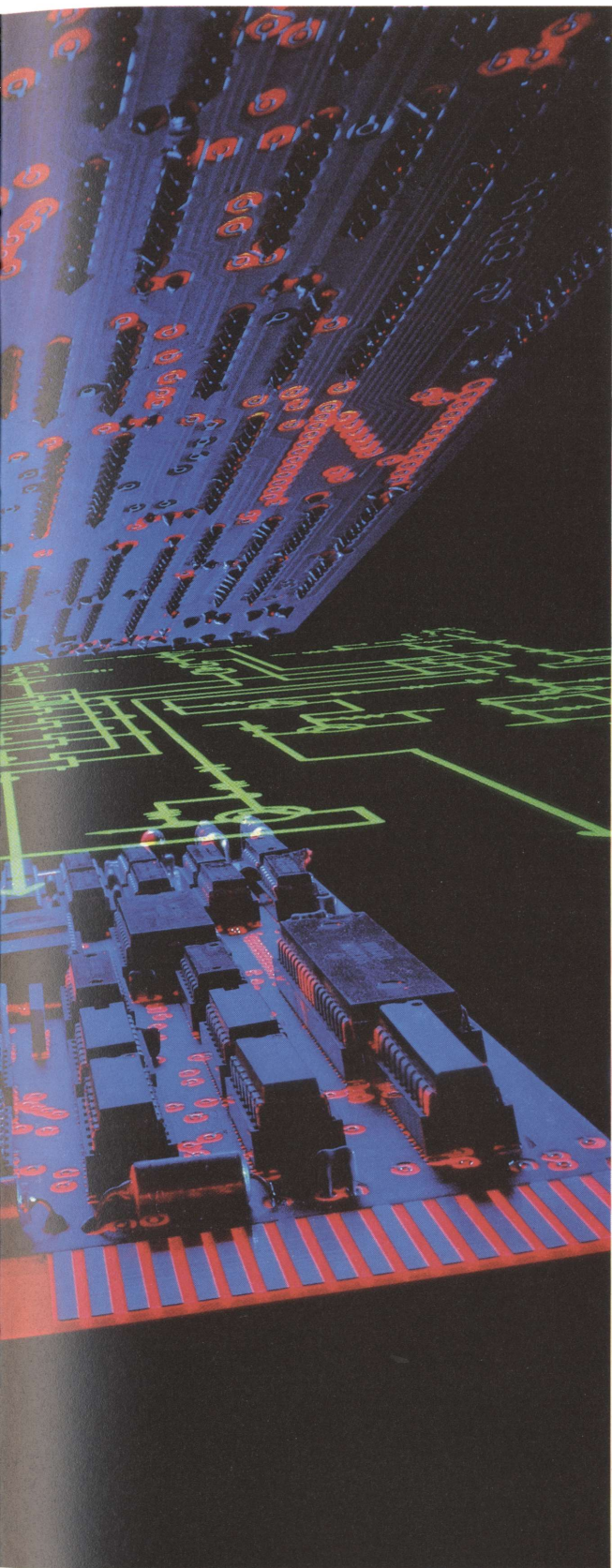
Grafica! Il computer disegna, dipinge, fa cartoni animati

Un chimico vede le molecole che nascono dall'unione di tanti atomi differenti: le vede comporsi, frantumarsi, riunirsi... Il medico vede il cuore che batte nel petto di un paziente. Per non parlare delle astronavi che si muovono disinvoltamente negli spazi extragalattici, e anche, piú semplicemente, dell'orso Yoghi che saltella spensierato fra i boschi di Yellowstone.

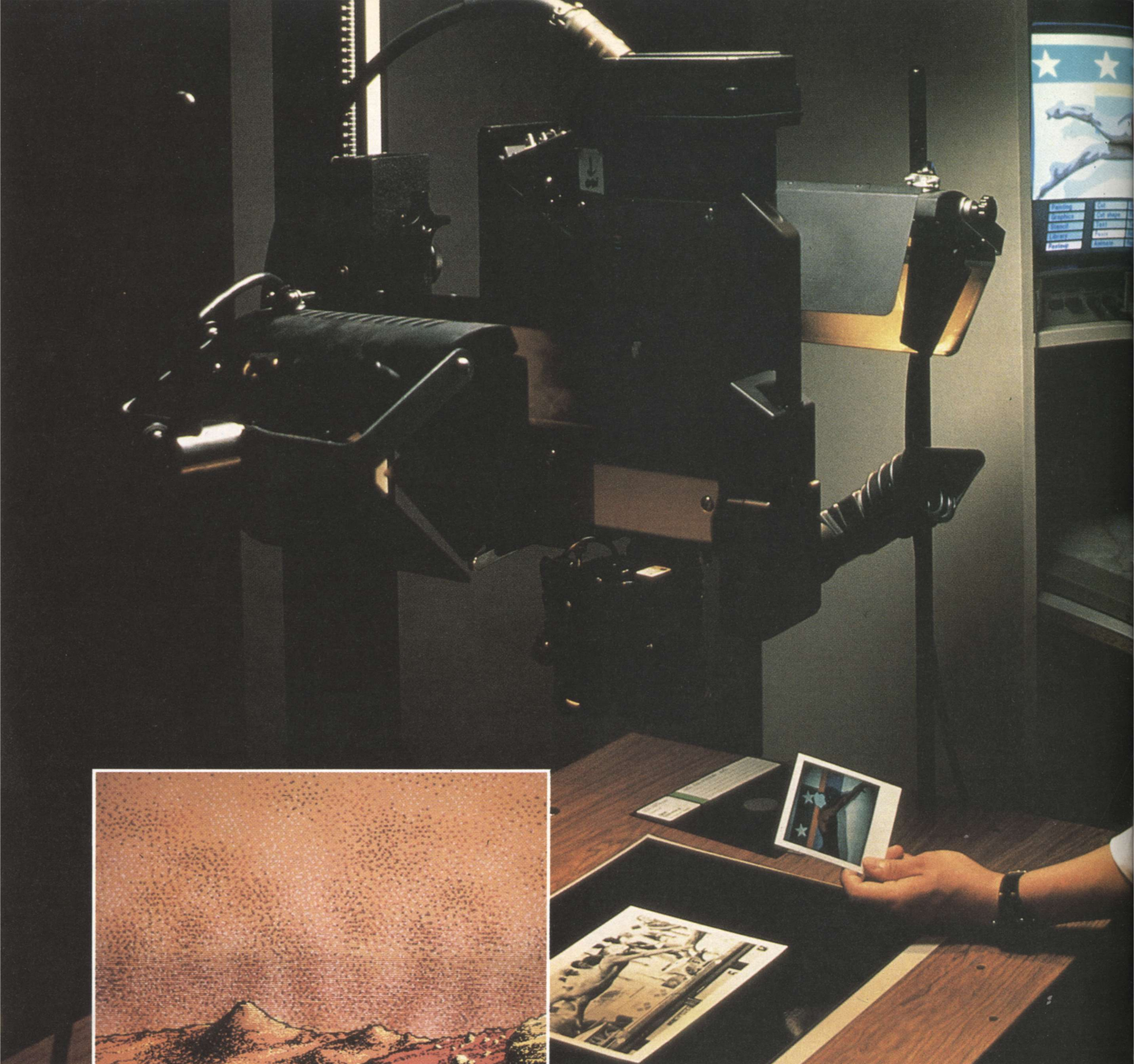
Che cos'hanno in comune tutte queste immagini? Semplicemente, sono state tutte create da un computer!

L'idea di "insegnare" il disegno ai calcolatori elettronici non è affatto nuova: già i computer della seconda generazione furono dotati di strumenti per disegnare. Allora, si trattava di "tavole traccianti", dove una penna si muoveva lungo due guide perpendicolari fra di loro; istante per istante, la penna poteva compiere un piccolissimo passo in orizzontale o in verticale, e, un passo dopo l'altro, poteva tracciare anche disegni complicatissimi. Naturalmente era il computer che ordinava "un passo in su" oppure "uno a destra" o "uno in giú"; e grazie al buon vecchio Cartesio, gli scienziati potevano scrivere delle formule matematiche, delle equazioni, che poi uno speciale programma avrebbe tradotto automaticamente in un disegno.

Com'è ovvio, per questo nuovo modo di usare i computer si trovarono subito delle applicazioni molto piú pratiche di quanto non fossero gli eleganti giochi matematici. Per esempio, il progettista di un elettrodotto poteva asse-

gnare al calcolatore tutti i dati che descrivevano il "profilo altimetrico" della regione attraversata dall'elettrodotto (definire, cioè, com'erano fatti monti e colline e pianure), specificare in quali punti pensava di piazzare i suoi tralicci, e poi chiedere al computer di calcolare se i cavi elettrici si sarebbero sempre mantenuti abbastanza lontani dal suolo, se non ci sarebbe stato il rischio di scontrarsi con le cime montane e cosí via.

Gli ingegneri meccanici scoprirono che un computer capace di disegnare era un grande aiuto: per esempio, era possibile fargli disegnare la carrozzeria di un'auto, o lo scafo di una nave: certo, era sempre il progettista che doveva assegnare certi dati fondamentali - era lui che doveva "inventare" la forma - ma poi la macchina provvedeva a completare le linee, a disegnare le superfici in modo che fossero aerodinamiche (oltre che belle a vedersi), e se il progettista desiderava fare una piccola modifica in un punto, subito il computer gli ridisegnava l'oggetto completo nella nuova versione. Un bel passo avanti, in confronto ai vecchi tavoli da disegno!

Far disegnare dal computer un oggetto in tre dimensioni non è poi uno scherzo, sapete. Per cominciare, se voi state disegnando un oggetto anche molto semplice - diciamo, una scatola cubica - vi guardate bene dal far comparire sul disegno gli spigoli nascosti alla vostra vista! Sembra banale: ma come fate a far capire a una macchina che cosa vede e che cosa non vede di un oggetto, a seconda del suo "punto di vista"? Gli scienziati chiamarono questo problema "il problema delle linee nascoste", e subito dopo averlo risolto si posero una

Un circuito (o, come dicono i tecnici, una "piastra") per un personal computer. Per disegnarlo - per disegnare le piste metalliche che collegano i vari componenti e anche per disporre quei componenti - si è usato un altro computer: lo vedete sullo sfondo, il disegno verde fatto dagli strumenti di CAD, cioè di progetto automatico.

In alto: con l'uso di una "tavoletta grafica" si possono ottenere effetti di ogni tipo. Possiamo disegnare scene bizzarre, colorite e "schematiche" come quelle dei cartoni animati (il disegno qui sopra è un esempio). Oppure possiamo riprodurre un'immagine reale con la massima fedeltà: il babbuino nella pagina a fronte è stato "fotografato" da un computer.

quantità di altre domande. Perché, già con quelle prime tavole traccianti (il nome inglese sarebbe *plotter*) si erano fatti dei bei disegni – qualche artista si era anche divertito a produrre delle composizioni – ma non sarebbe stato forse il caso di realizzare delle immagini piú complete? Delle immagini in chiaroscuro, capaci di rappresentare superfici complesse e volumi e vere e proprie scene, come in un teatrino automatico?

Dunque, vediamo cosa occorre. Una

quello che c'è al di là, aggiungendo solo un lieve riflesso colorato... come se fosse poco! Occorre tradurre in termini matematici e logici - gli unici che un computer sa capire - tutta la tecnica di un autentico pittore.

Proviamo a immaginare che il "mezzo" su cui vogliamo che il computer "dipinga" sia lo schermo di un televisore a colori. Se vogliamo un disegno in due dimensioni (cioè senza prospettiva), potremo dire al computer quali sono le linee che deve tracciare, e poi ordinare di che colore dev'essere riempita ogni zona, ogni "regione" sullo schermo: oramai, anche gli home computer hanno programmi (o magari anche circuiti specializzati) capaci di fare questo lavoro. Lo schermo, per il computer, è fatto di tanti punti che in gergo si chiamano pixel, e la macchina provvede ad assegnare colore e luminosità ad ogni singolo pixel. Già, ma se volessimo rappresenta-

volta specificato quali oggetti sono presenti sulla nostra scena, si deve spiegare al computer da quale punto di vista deve vederli: e a quel punto la macchina deve disegnarli, anzi "dipingerli", dando colori e ombre e chiaroscuro in modo che gli oggetti appaiano quasi in tre dimensioni. E la superficie deve riflettere la luce in modo diverso a seconda che noi la definiamo "lucida" oppure "opaca", o magari il nostro oggetto dev'essere trasparente e lasciare intravedere

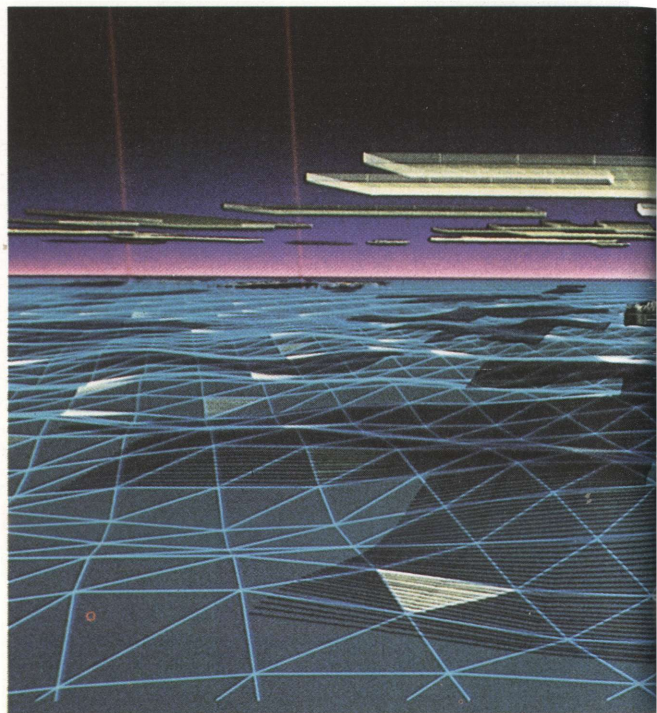
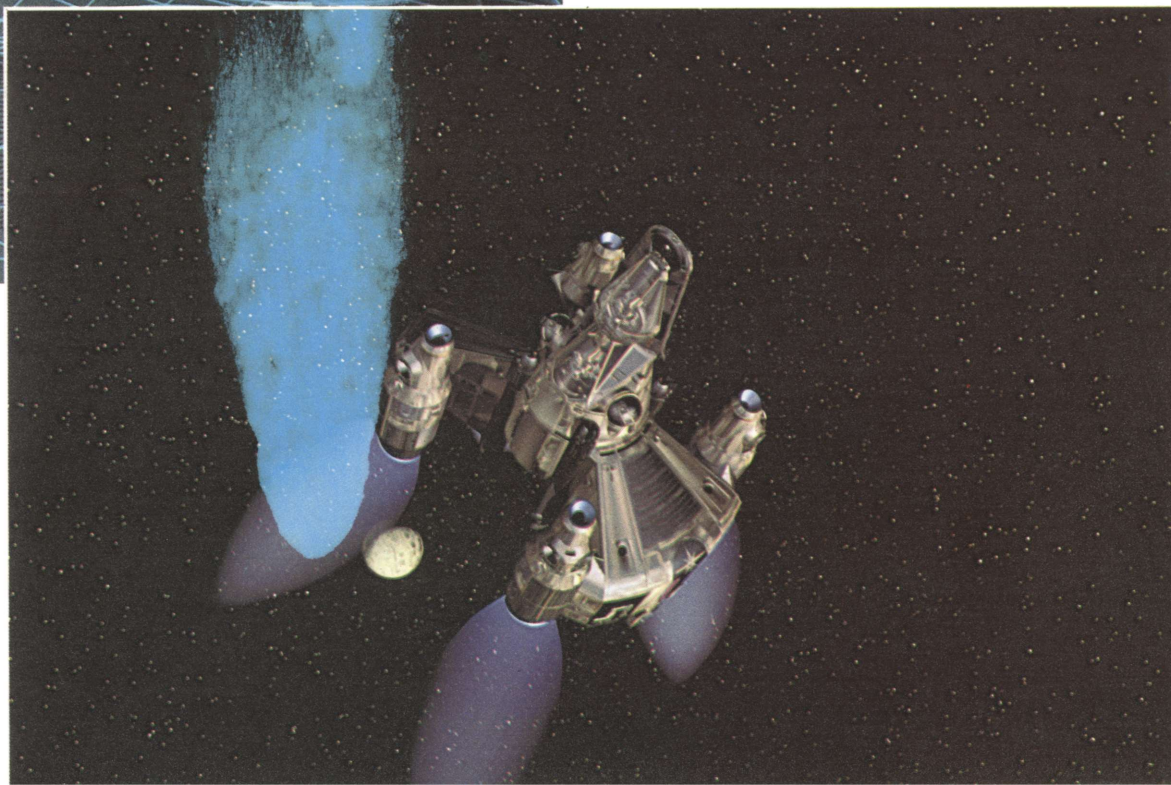
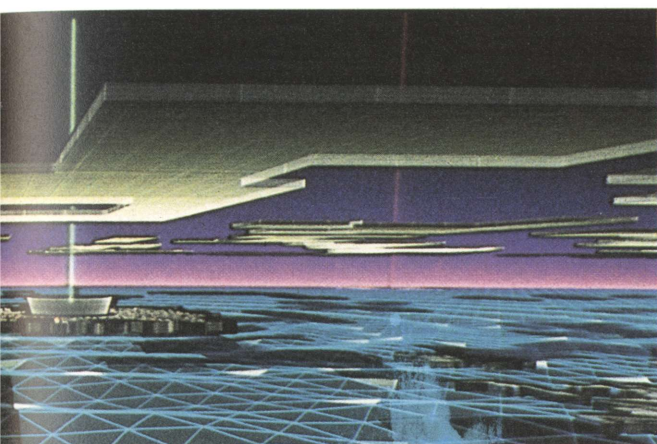
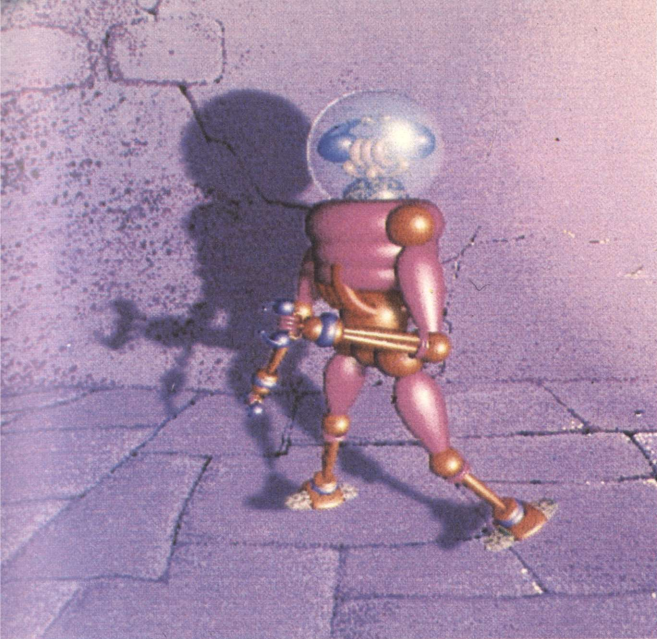
re un piatto e un bicchiere appoggiati sul tavolo – e rappresentarli realisticamente, intendiamoci! – che cosa dovremmo fare?

In pratica, gli scienziati hanno dovuto ripercorrere la strada che era stata battuta in passato dai grandi pittori del Rinascimento...

Naturalmente, le soluzioni proposte sono molte: alcune creano un'immagine piú perfetta, altre producono un quadro un po' meno preciso ma richiedono anche meno impegno al computer.

Per esempio, si può pensare che la superficie di ogni oggetto sia fatta in realtà di tanti minuscoli triangoli e esagoni affiancati l'uno all'altro, con angolature diverse: naturalmente, una superficie "curva" come il nostro bicchiere o magari un viso umano, non viene rappresentata in modo perfetto, ma il metodo richiede relativamente poco lavoro al computer. Se vogliamo un'immagine migliore, possiamo sostituire ai triangoli delle minuscole superfici curve: il risultato sarà piú bello, ma ci costerà un po' di piú. Per fare il chiaroscuro, poi, dovremo calcolare che luce cade su ogni triangolino o su ogni frammento di superficie! Cioè, siamo onesti, è il computer che dovrà fare questi calcoli: dovrà "immaginare" il raggio di luce che colpisce l'oggetto, e valutare se il punto è in ombra o in luce, se è "nell'ombra" di qualche altro oggetto, e magari – se si è descritto qualcosa di trasparente – calcolare che cosa si vede "al di là"... Capite bene che tutto questo ha richiesto lunghi studi, e che i programmi per produrre questi disegni sono tutt'altro che semplici.

A che cosa serve tutto questo? Serve, intanto, a degli altri scienziati: agli ingegneri per progettare dei prodotti senza dovere ogni volta costruire un modello, per esempio. Serve anche agli artisti che si trovano in mano un "pennello" molto potente e anche intelligente. E serve, in particolare, per fare... dei film d'animazione. Interessante, vero? Vediamo come si fa.

Per cominciare, occorre dire che fare un film d'animazione è un lavoro terribilmente lungo e difficile (e costoso): per un solo secondo di visione occorrono ventiquattro immagini, ognuna leggermente diversa dalla precedente. Solo cosí, quando il film viene proiettato a velocità normale, noi avremo l'illusione di un movimento continuo, senza quei noiosi sussulti dei vecchi film muti. Ma questo significa che per un normale lungometraggio che dura un'ora e mezzo dovremo produrre qualcosa come 130 000 immagini!

In alto: un piccolo robot che passeggia, disegnato da un computer il quale provvede anche a farlo "muovere".
Sopra: una scena del film *Tron* costruita da un computer, come diverse altre che facevano passare dal mondo "reale" a quello dei videogiochi.
A destra: probabilmente l'esempio piú raffinato fino ad ora, quello del film *Giochi stellari*, per cui si è usato il computer piú potente (un *Cray XMP*) che ha disegnato astronavi e spazi interstellari rendendoli assolutamente realistici.

I disegnatori preparano ogni singola immagine dipingendone le varie parti su diversi fogli di celluloide che poi vengono sovrapposti: con questo trucco non sarà necessario ridipingere lo sfondo per tutte quelle "pose" che vedono Topolino sempre fermo a chiacchierare nello stesso punto, e non occorrerà ridisegnare i piedi e le gambe di Topolino finché lui si limita a muovere le mani e la bocca: insomma, si cerca di riutilizzare almeno una parte dell'immagine (cioè alcuni dei fogli di celluloide) per diverse "riprese" consecutive. E poi, naturalmente, l'artista principale, il "capo dell'animazione", non fa personalmente tutti i disegni: prepara lo schizzo di Topolino nelle cinque o sei posizioni principali di una sequenza del film, e poi ci sono i suoi collaboratori che completano tutte le altre posizioni intermedie (infatti, questi disegnatori si chiamano "intermedi"). Altri artisti, poi, aggiungono il colore al disegno, e altri ancora preparano gli sfondi con ogni dettaglio... questo, per la precisione, è quel che succedeva fino a pochi anni fa, quando tutto il lavoro era fatto completamente a mano: e per questo motivo vedrete che i

cartoni animati del 1965 o giú di lí sono molto meno animati di certi vecchi capolavori di Walt Disney tipo *Fantasia* o *Biancaneve e i sette nani*! Il fatto è che rifare centinaia di migliaia di disegni era diventato paurosamente costoso (o, se preferite, che lo stipendio dei disegnatori era aumentato...) e che quindi si ricorreva magari all'"automazione parziale": Topolino che sta fermo per un minuto intero muovendo solo le braccia e le mani, per esempio.

E oggi, col computer? Diciamo subito che l'artista principale continua a fare il suo lavoro, per forza: il computer ha tante buone qualità, ma è assolutamente privo di fantasia. Cosí per gioco, supponiamo di essere negli *studios* della Hanna-Barbera: si sta preparando un cartone animato degli *Antenati*. L'artista prepara alcuni disegni essenziali e specifica come un disegno deve trasformarsi in un altro: come il dinosauro visto di profilo in primo piano nella prima scena deve trasformarsi nel dinosauro visto di fronte e in secondo piano tre secondi dopo. Tutti i disegni che originano questa trasformazione, dandovi poi l'illusione che il dinosauro si sia allontanato girandosi un po', vengono costruiti automaticamente dal computer, che conosce delle "regole di trasformazione" da un'immagine all'immagine immediatamente successiva. L'artista può anche spiegare come vuole che avvenga il movimento: in fretta, lentamente, cambiando il punto di vista... e il computer provvede.

Ma ecco che possiamo fornire al nostro artista un altro strumento ancora: nientedimeno che un'intera nuova tavolozza completa di pennelli. L'artista "dipinge" nella memoria del computer, e vede l'immagine sullo schermo di un televisore a colori (alcune sequenze di *Star Trek II*, per esempio, sono state

Gli effetti speciali di certi spettacoli televisivi – o dei video film, come nella foto a sinistra – sono ottenuti con complicati sistemi a calcolatore. Altri computer permettono a un pittore di creare dell'arte al computer: le due immagini qui sopra sono degli esempi di quello che si può ottenere con questa tavolozza elettronica.

realizzate con questa tecnica). L'artista ha davanti a sé una "tavoletta" con una speciale matita elettronica (si chiama "stilo", per la precisione). Sullo schermo del televisore, il computer gli offre tutta una lista di "disponibilità", come:
- colori
- luminosità
- trasparenze
- pennelli di varie dimensioni.

Il nostro disegnatore sceglie un "pennello" (è un pennello "virtuale", che esiste solo nella memoria del nostro calcolatore) e sceglie un colore; poi, col suo stilo, traccia un segno sulla tavoletta... ed ecco che sullo schermo la linea compare nel colore che ha chiesto, e con lo spessore del pennello selezionato. E il pittore può continuare quanto vuole, cambiando pennelli, colori, tonalità, proprio come se avesse una tavolozza e una tela e un cavalletto! Se poi vuole riempire con una tinta uniforme una zona di dipinto un po' grande, basta ordi-

narlo al computer e provvederà lui a questo compito noioso.

Già cosí, è chiaro che il computer fornisce un grosso aiuto ai nostri artisti: se poi pensiamo che può fare automaticamente, sull'immagine che ha registrato nella propria memoria, operazioni del tipo "zoom" o "panoramiche", capiamo subito che fare un film d'animazione è diventato un lavoro piú facile di quanto fosse ai tempi eroici...

Attenzione, però: fino ad ora si è parlato di normali cartoni animati, ma col computer oggi si ottengono quei meravigliosi effetti speciali che danno una perfetta illusione di realtà: li abbiamo visti in film tipo *Tron* o *Star Trek II* e cosí via. La differenza è nella "illusione" di una realtà in tre dimensioni!

Naturalmente, i film di fantascienza si facevano anche prima di realizzare l'animazione col computer, e gli effetti speciali esistevano anche allora: si trattava di costruire dei modellini in scala (che venivano, se necessario, sospesi con dei fili trasparenti per fingere che volassero). Per far vedere il mostro in movimento, occorreva fare tutta una lunga serie di foto, che poi sarebbero diventati i fotogrammi del film: ogni volta, si modificava impercettibilmente la posizione del modellino, si scattava una foto e si ricominciava da capo (se vi capita di vedere un vecchio film di fantascienza, del 1940 o giú di lí, provate a scoprire dove si è usato questo trucco!). Era un lavoro quasi piú lungo che disegnare un cartone animato.

Oggi, invece, con i metodi descritti, il computer può "dipingere" delle autentiche scene in tre dimensioni, e possiamo cambiare gli angoli di visuale, e far muovere i nostri oggetti con le manovre piú spericolate, sfidando totalmente la gravità: al computer, nessun effetto speciale diventa impossibile.

Alla Lucas Film, sono diventati dei maghi, in questo campo, e bisogna ammettere che anche la Walt Disney non scherza! Ci sono però anche altri film di animazione altrettanto complicati che non vedrete mai nelle sale cinematografiche, ma che sono molto piú importanti per il progresso dell'umanità. Per esempio, un ingegnere civile può descrivere al computer l'effetto di un terremoto - anzi, ordinare la simulazione degli effetti di un terremoto - e vedere sul televisore che cosa accadrebbe al ponte che ha appena progettato, o al grattacielo di cinquecento piani...

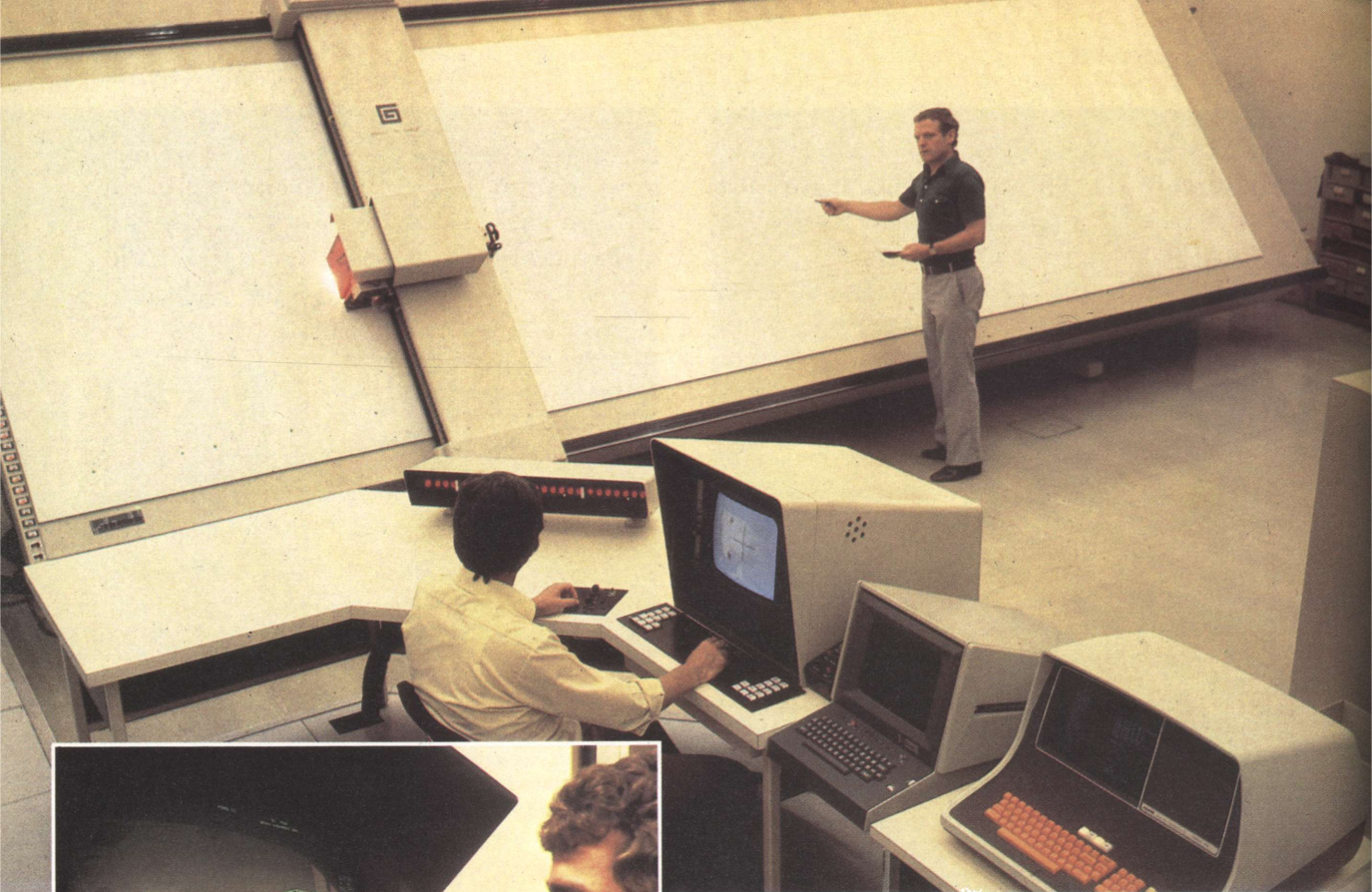
A proposito, può darsi che qualcuno si chieda "con che cosa" dipinge il computer, alla fin fine. Abbiamo parlato di "plotter" e "penne"; si usano ancora, soprattutto per fare dei disegni... a punta di penna. Se vogliamo fare un telefilm, poi, non c'è problema: il computer costruisce l'immagine sullo schermo video, punto per punto (anzi, pixel per pixel) e poi la registra su un "videotape". Il calcolatore, però, può anche produrre un film vero e proprio: occorre una macchina speciale, naturalmente, una macchina che "impressiona" la pellicola un punto alla volta, costruendo l'immagine con una quantità di punti. E si può anche ottenere un'immagine colorata su un foglio di carta, usando delle macchine che, invece di disegnare con

A fronte: un'immagine interamente costruita da un computer, a cui sono stati descritti tanti vasi di materiali diversi (dal carbone alla polvere lunare) "colpiti" in un certo modo dalla luce. Non vi sembra un risultato sorprendente?!
In questa pagina: "progetti" disegnati col calcolatore: delle parti di macchina (a sinistra) e i particolari di un progetto architettonico (sopra).

dei pennini sottili, spruzzano minuscole gocce di inchiostri di vari colori. Per non parlare di sistemi ancor piú complicati, che utilizzano carte speciali su cui si "disegna" con l'aiuto del calore o dell'elettricità. Se il computer vuole diventare un artista, non gli mancano certo i mezzi per farlo!

Il computer progetta

Ogni tanto capita di ascoltare la pubblicità di qualcosa – un'auto, un elettrodomestico, un televisore – che è stato "progettato dal computer". Dunque, i calcolatori elettronici si stanno sostituendo agli ingegneri? Be', non proprio... piuttosto dovremmo dire che danno una mano agli ingegneri! Proviamo a vedere come: naturalmente, tutto dipende da cosa si progetta. Immaginiamo che si tratti di un'automobile...

Dobbiamo progettare il motore? Possiamo descrivere al computer le caratteristiche del motore che vogliamo: cilindrata, potenza e cosí via. Se non ci accontentiamo di un motore già esistente (che il computer conosce già, per cosí dire), possiamo descriverne uno nuovo, con ogni dettaglio. A questo punto utilizziamo un "programma di simulazione": è un programma che calcola "come si comporterebbe" il motore istante per istante, in tutte le possibili condizioni: in accelerazione, in frenata, a pieno regime, con la miscela giusta di aria e benzina oppure con una carburazione mal fatta... è "come se" avessimo decine di motori autentici e li facessimo funzionare in tutte le maniere del mondo.

Il computer partecipa al progetto di un'automobile: il progettista comincia a disegnare su uno schermo la carrozzeria, poi il computer perfeziona il disegno (foto piccola, qui sopra) finché il disegnatore non è soddisfatto. A questo punto, si passa su grandi tavole traccianti come quelle della foto in alto, che fanno i disegni a grandezza naturale. A fronte: un laser usato per studiare particolari caratteristiche di un progetto, magari per esaminare i difetti o i punti piú nascosti di un motore.

Dopo questa simulazione, il computer potrà dirci se il motore è stato progettato bene, se sopporterà lo sforzo di una lunga salita in montagna, d'inverno, oppure le interminabili code in città a regime minimo o magari le corse su un fondo dissestato che gli infliggerà eccessive vibrazioni... tutte informazioni che altrimenti potremmo ottenere solo costruendo una quantità di motori e facendoli funzionare per migliaia di ore nelle peggiori condizioni!

A questo punto, possiamo chiedere al computer di "disegnare" i pezzi del motore: non semplicemente di tracciare un disegno su un foglio di carta, ma addirittura di preparare i comandi per le macchine automatiche che costruiranno gli stampi per le fusioni, oppure per i torni e le frese che rifiniranno i pezzi, perfino per i sistemi sofisticatissimi, a ultrasuoni o a laser, che controlleranno se bielle e alberi a gomito sono stati prodotti bene o se magari hanno qualche piccolo difetto che al momento opportuno potrebbe essere fatale.

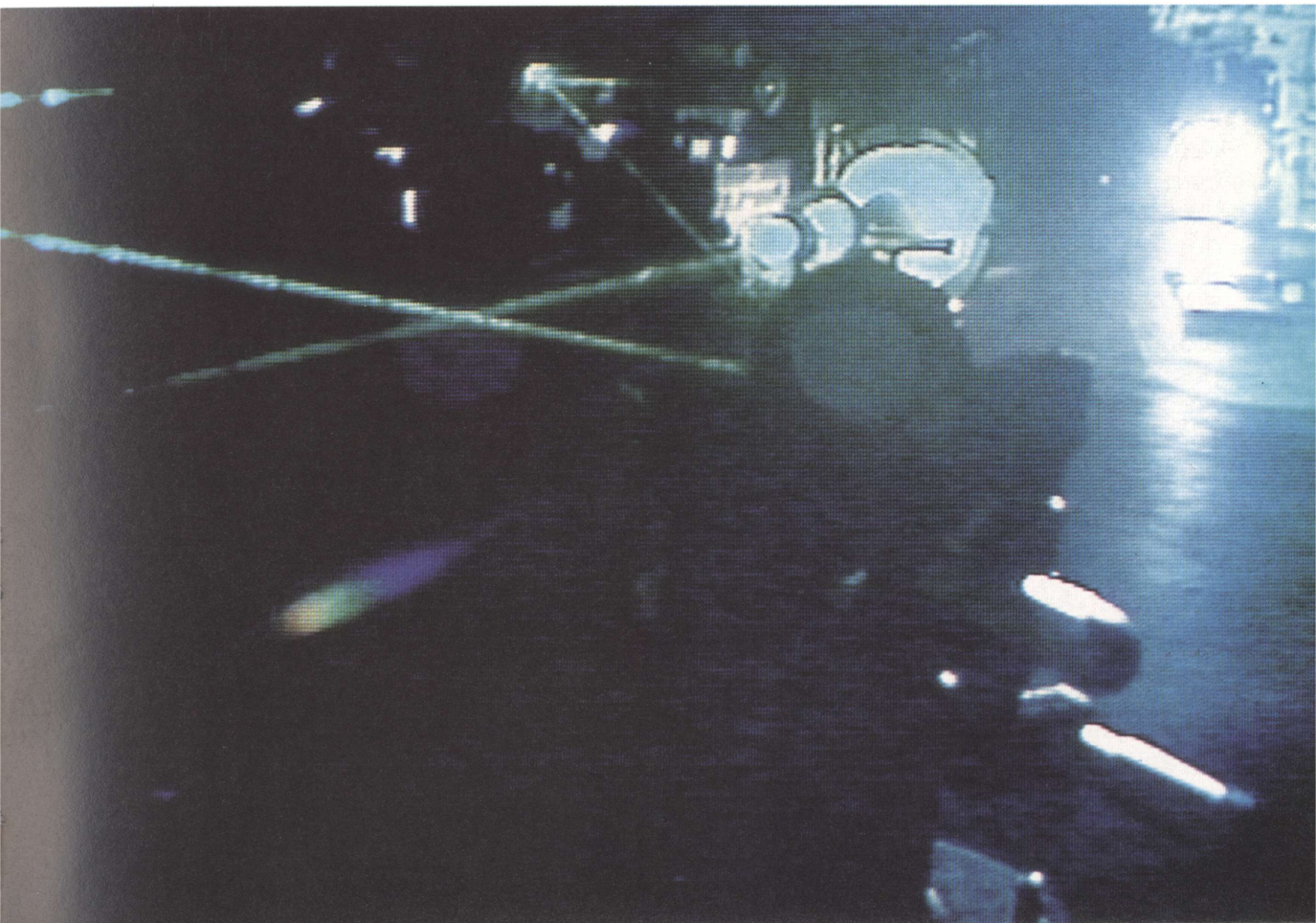
E la carrozzeria? Un tempo – una ventina d'anni fa, non di piú – il progettista di carrozzerie, il "designer", cominciava il suo lavoro con carta e mati-

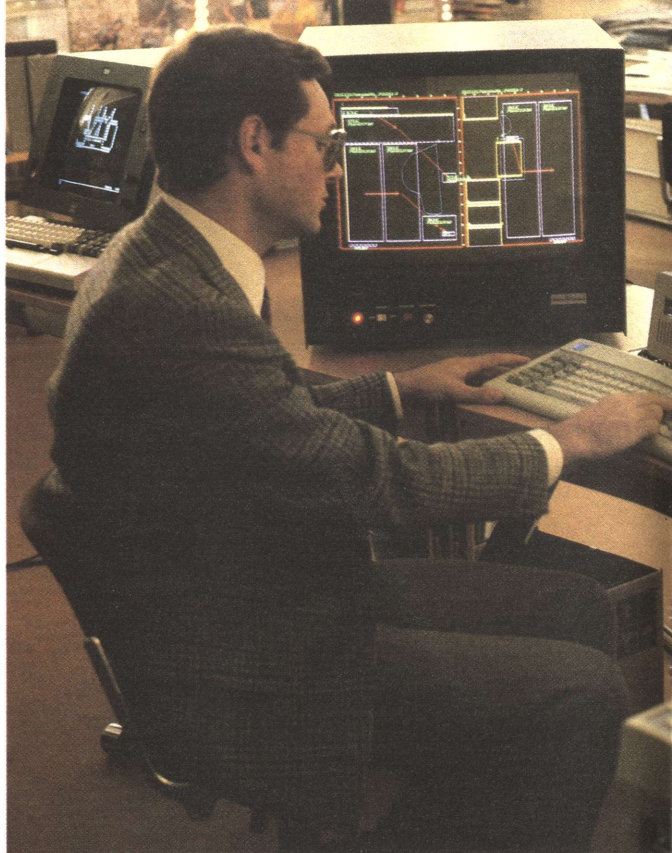
ta, poi costruiva un modellino "in scala" (fatto di legno, per esempio), poi finalmente faceva un modello a grandezza naturale (anche questo di legno, oppure di creta) e a questo punto poteva stabilire se era soddisfatto della sua idea oppure no. Potete immaginare che una modifica da poco – cambiare la curvatura del parabrezza, per esempio – si trasformava in una fatica improba! Trovare la linea migliore per le superfici – una linea aerodinamica, piacevole da vedere e tale che la carrozzeria potesse essere prodotta ragionevolmente bene con le presse e le altre macchine utensili – era un lavoro di mesi e di anni.

Ma mettiamo il nostro designer a progettare davanti a un computer: affida al calcolatore elettronico il primo schizzo della carrozzeria, poi chiama un programma che disegni la superficie. In realtà, l'eleganza di un cofano, la linea piacevole di una fiancata, la curvatura dei raccordi fra tettuccio e corpo della vettura possono essere calcolati in termini matematici, e quindi, partendo da un abbozzo discretamente completo, il nostro computer può ricavare una bella superficie senza spigoli né bruschi cambiamenti di stile. E a questo punto l'amico designer può farsi mostrare la carrozzeria su uno schermo video, farla ruotare da ogni angolo e poi simulare l'effetto del vento quando l'auto corre a gran velocità e controllare se il raccordo tra cofano e parabrezza per caso non provoca dei vortici d'aria che rallentano la vettura e divorano energia...

Ma non è tutto qui! Ora che abbiamo disegnato la "forma" dell'auto, si tratta di progettare la scocca: scegliere lo spessore della lamiera, decidere dove vanno le traverse di rinforzo e come devono essere fatte... tutto per garantire un'auto robusta e soprattutto un'auto sicura.

Una volta progettata l'auto, possia-

mo simulare la sua corsa, e anche simulare i piú terribili incidenti! Sullo schermo, vedremo l'auto schiantarsi contro un muro mentre corre a cento all'ora; e vedremo che cosa succede al cofano, e anche che cosa capita agli sfortunati passeggeri. Questo ci permetterà di modificare il progetto in modo che, quando capita un incidente, i viaggiatori soffrano meno danni, e danni meno gravi...

Il calcolatore elettronico, dunque, non è un sostituto del progettista, ma un suo strumento, e anche molto importante: gli esperti parlano di CAD, che poi vuol dire "progetto con l'aiuto del calcolatore" (è la sigla di Computer Aided Design, infatti) e anche di CAM, cioè "produzione con l'aiuto del calcolatore", o addirittura di CAE: "ingegneria con l'aiuto del calcolatore"! Perché il computer, almeno in certi settori industriali, viene utilizzato proprio in tutte le fasi, dal progetto preliminare fino al comando delle macchine nella fabbrica e addirittura al collaudo del prodotto finito. Certe cose non potrebbero nemmeno essere fabbricate, altrimenti. Un esempio? Be'... proprio i computer!

Non sarebbe possibile progettare i circuiti integrati, i chip, senza servirsi di un calcolatore elettronico per mille cose: per simulare come si comporta il chip quando lo facciamo lavorare, per trovare il disegno migliore (sicuro, proprio il disegno!), per disporre i transistor in modo che occupino il minimo spazio possibile, che i collegamenti elettrici siano bene ordinati, che l'intero circuito funzioni nella maniera migliore immaginabile. E finalmente, un altro computer traccia i disegni delle maschere (abbiamo già visto di cosa si tratta) e altri suoi confratelli controllano tutta la produzione dei chip: verificare a ogni istante che la temperatura sia giusta, che i gas che soffiano sopra i chip siano dosati alla perfezione, e cosí via, è un compito estremamente complicato! Un uomo fa molto meno fatica se, a leggere manometri e termometri, c'è un computer che calcola rapidamente come vanno le cose e che si limita a "tenerlo al corrente" piú che a chiedergli di intervenire...

1

E quando, finalmente, i chip sono pronti, li affidiamo a un computer specializzato che controlla se funzionano bene, prima che si rischi di spedire al cliente un aggeggio che non sa nemmeno fare 1 + 1!

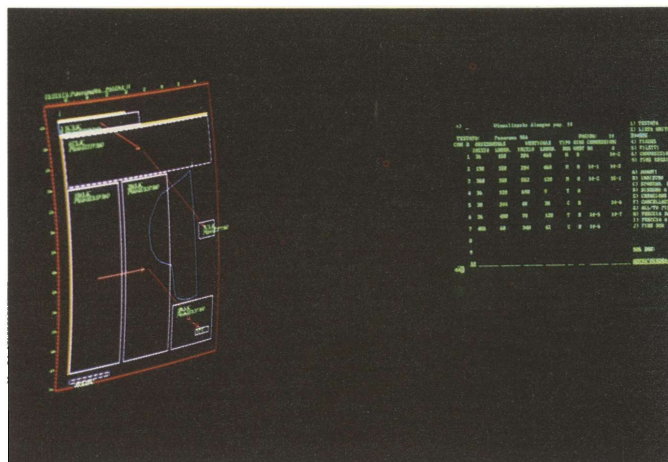
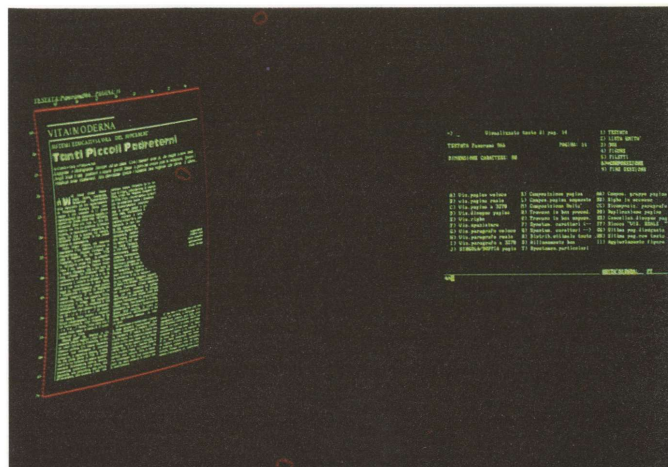
Fin qui, si direbbe che il progetto venga sempre preparato dagli uomini e solamente verificato dal computer: in realtà, sempre piú spesso succede che il calcolatore elettronico proponga delle soluzioni fin dall'inizio. Per esempio, possiamo dirgli "voglio un circuito elettronico capace di fare la moltiplicazione di due numeri di otto cifre", e lui in risposta ci fornirà una soluzione, o varie soluzioni con caratteristiche diverse (una piú veloce, una meno costosa, e via dicendo). Come fa?

Per cominciare, ha nella memoria una "libreria" di soluzioni: in fin dei

VITA MODERNA

SISTEMI EDUCATIVI/L'ORA DEL SUPERBEBÈ

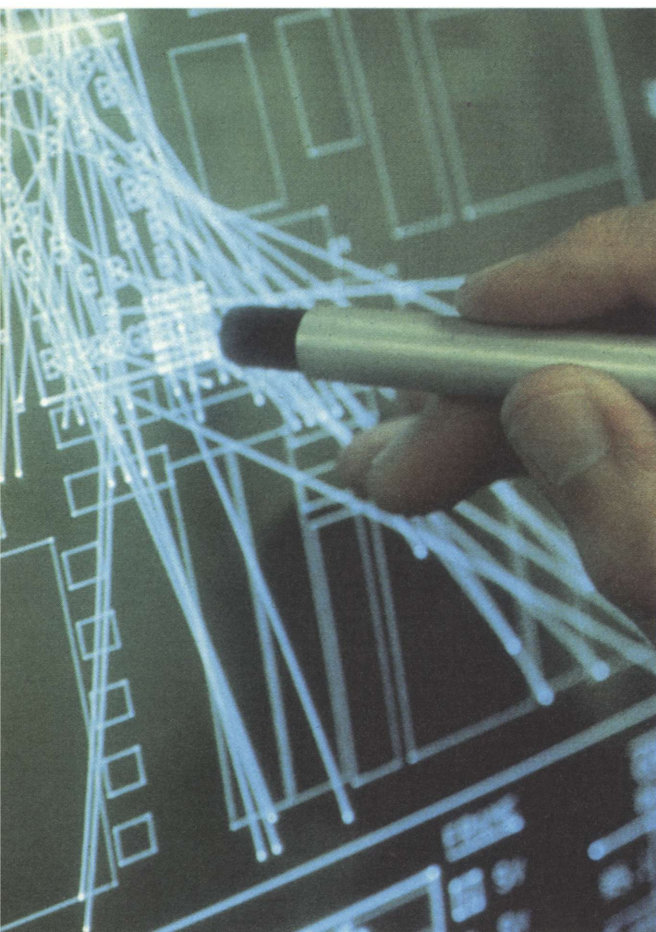
Tanti piccoli padreterni

Leggono e distinguono Mozart a un anno. Con i numeri sono già dei maghi a nove mesi. Negli Stati Uniti, genitori e scuole speciali fanno a gara nel creare geni in miniatura. Spesso i risultati sono clamorosi. Ma altrettanto spesso i bambini non reggono allo sforzo. E allora...

4

Con un computer si progetta anche una rivista. Ecco un esempio: il compositore sta preparando una pagina (1). Il computer, prima di tutto, gli presenta sullo schermo la "gabbia" (2), cioè lo schema di come dev'essere fatta una pagina. A questo punto, il compositore scrive il testo e ordina alla macchina di disporlo lasciando lo spazio per le fotografie e cose simili (3). Ancora il computer si occuperà di disegnare punto per punto le immagini con una speciale macchina (una fotounità a laser, magari) e finalmente ecco nascere la "matrice", da cui si potranno riprodurre infinite copie (4).

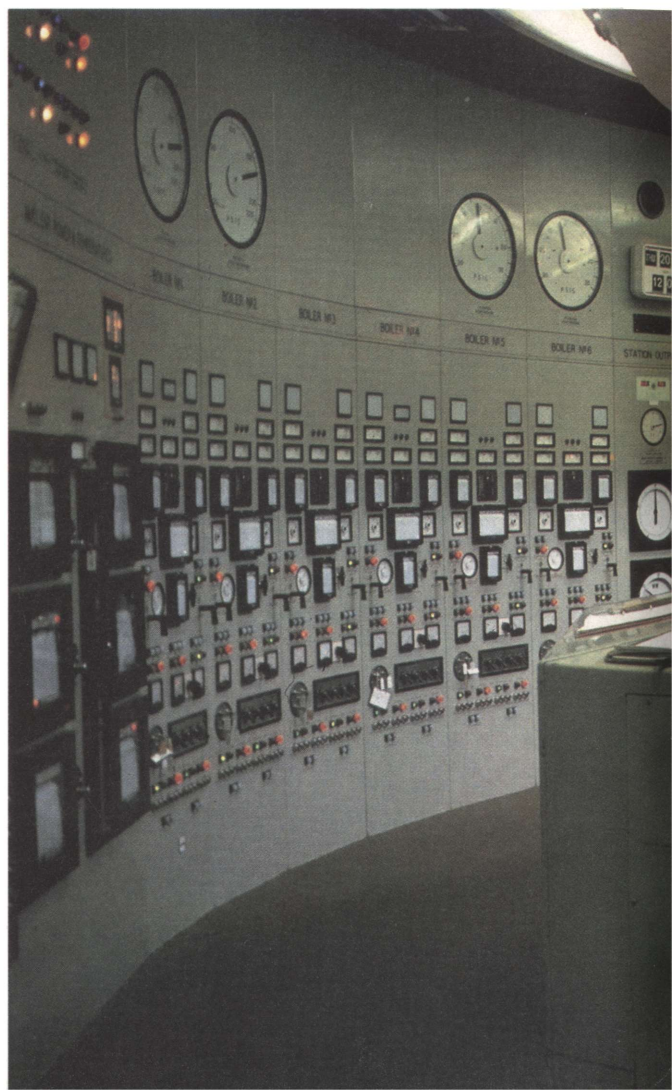
2

3

conti, anche gli ingegneri fanno spesso cosí, infatti quando progettano un aereo non ricominciano da zero, stile fratelli Wright, ma si riferiscono a tutte le esperienze precedenti e utilizzano spesso parti di progetti già collaudati e sperimentati. E poi, chi ha detto che la macchina e l'uomo devono lavorare ognuno per conto suo, senza scambiarsi qualche informazione e magari qualche suggerimento a mezza via? È esattamente ciò che succede in molti casi: il computer chiede qualche informazione in piú; oppure propone diverse scelte all'ingegnere, o magari aspetta una decisione prima di procedere nel proprio lavoro. Dopo tutto, in molti casi un progetto non dipende soltanto da scelte tecniche, ma

del computer e che “discorra” con lui, dibattendo le diverse alternative fino a ricavare la soluzione che sembra migliore... a tutti e due, intendiamoci! E se il computer è programmato in modo da essere un “sistema esperto” - cioè una macchina molto, ma molto intelligente - farà tesoro di tutte queste decisioni e le registrerà nella propria memoria - le “apprenderà”, proprio come un buon progettista - per riutilizzare l'esperienza fatta, alla prima occasione.

A sinistra: una speciale penna che serve a disegnare sullo schermo di un computer. Nel nostro caso, l'uomo sta disegnando un circuito elettronico (ne fa uno schizzo, e il computer si preoccupa di riordinarlo, e magari... anche di produrlo).
Sotto: la grande sala di controllo di una centrale nucleare: anche qui ci sono calcolatori nascosti che controllano che non succedano drammi!

anche da questioni tipo il costo, il tempo che occorrerà per realizzare il prodotto, e addirittura i gusti della gente!

Oggi, per esempio, gli architetti e gli urbanisti (cioè coloro che si occupano di progettare una città, o almeno un quartiere, con i suoi servizi come scuole, ospedali, linee di autobus e via di questo passo) usano molto spesso il computer: ebbene, è chiaro che ci si può limitare a fargli calcolare quanto devono essere spessi i pilastri in cemento armato o come dev'essere fatta la rete per distribuire l'energia elettrica nel quartiere, ma possiamo anche coinvolgerlo in operazioni molto piú importanti. D'altra parte, non vogliamo certo che sia il computer a decidere per noi la forma di un palazzo... insomma, è inevitabile che il progettista si segga davanti allo schermo

I computer nascosti (una storia di macchine)

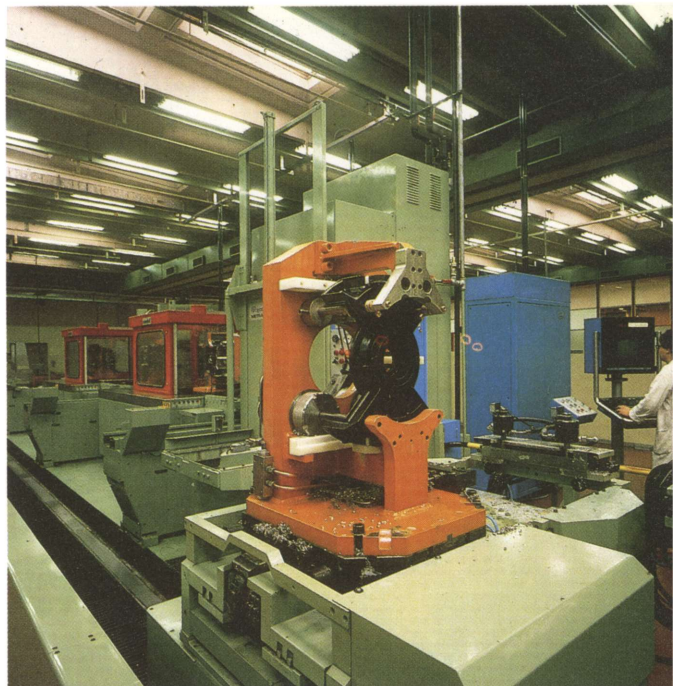
Ma il computer deve sempre conversare con l'uomo? Non è possibile che questa complessa macchina moderna "diriga" direttamente delle altre macchine?

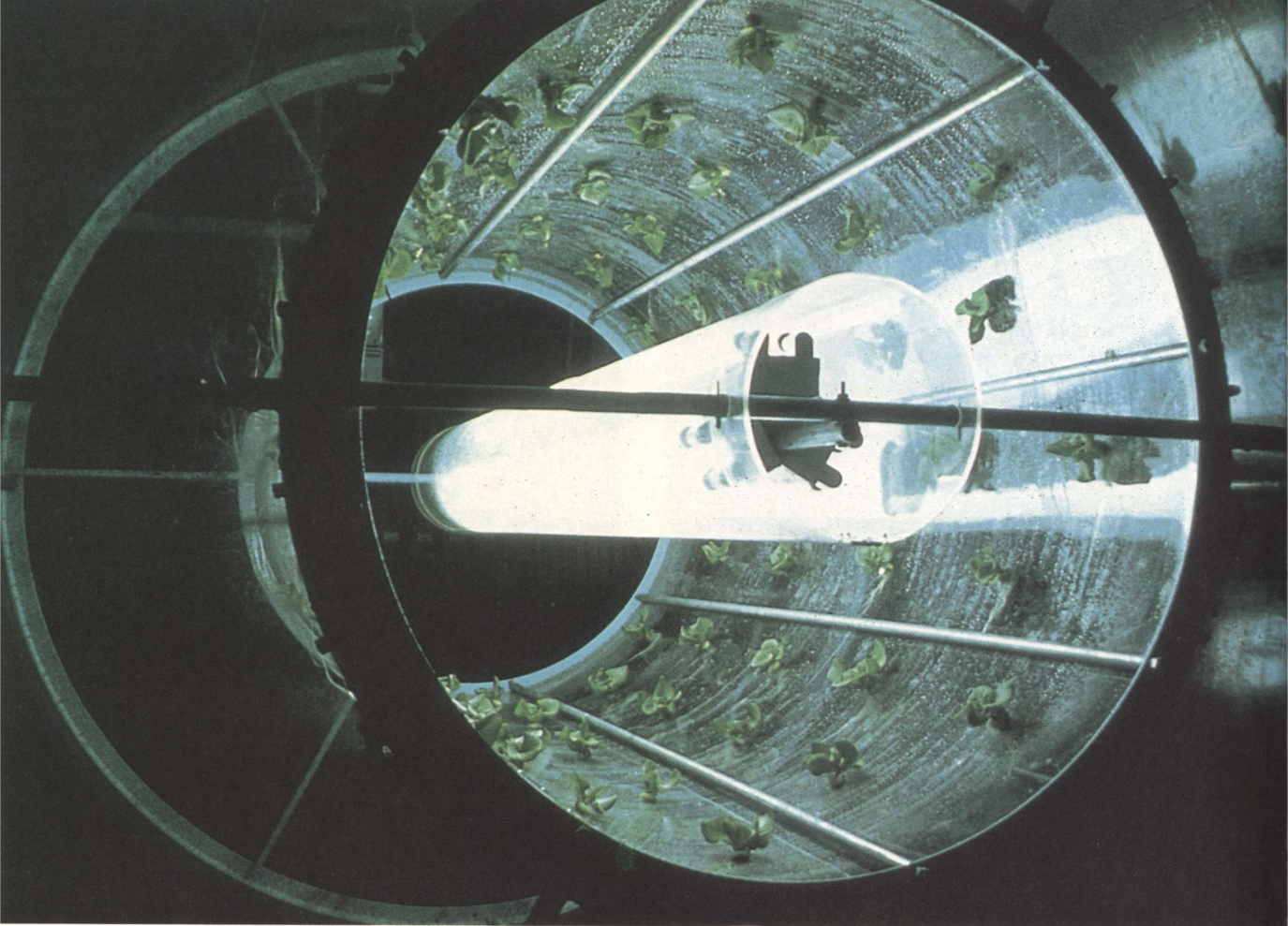
La risposta è sí, naturalmente: anzi, si può fare un lunghissimo elenco di esempi in cui il computer controlla il buon funzionamento di una fabbrica, di un motore, di un impianto chimico e cosí via. Addirittura, in molti casi, il computer riesce a fare quel che un uomo non potrebbe fare, perché la macchina è piú veloce, perché non si stanca mai, perché non ha problemi a respirare gas velenosi... Come funzionano, dei sistemi del genere?

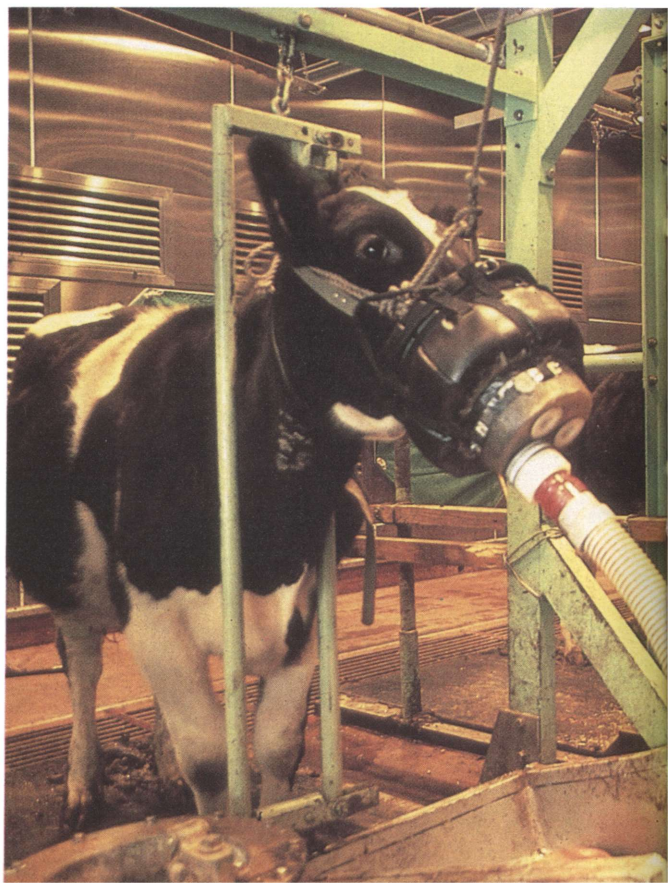
Proviamo a pensare a un caso complicato, un caso importante: supponiamo che il computer debba comandare una centrale nucleare. Occorre verificare che il nucleo, costituito di barre d'uranio (il materiale che genera la reazione nucleare), non si surriscaldi, e, se necessario, bisogna spostare delle altre barre, fatte di grafite, che si infilano fra quelle di uranio e rallentano i neutroni, facendo in modo che si sviluppi meno calore. Poi, si deve controllare che non nascano gas radioattivi. Dato che il nucleo cede il proprio calore ad un liquido che circola in un insieme di tubazioni, si dovrà provvedere anche a verificare la temperatura di questo liquido di raffreddamento (raffreddamento... si fa per dire! Le temperature sono molto alte, sempre!). E poiché il tutto serve a produrre

vapore acqueo surriscaldato che fa funzionare le turbine elettriche, anche la temperatura e la pressione del vapore dovranno essere tenute d'occhio...

Be', non possiamo certo pensare che ci sia un ometto che legge a frenetica velocità un gran numero di termometri, manometri e cosí via, poi corre a scrivere ordini cabalistici sulla tastiera del computer, legge ansiosamente la risposta della macchina e torna senza fiato a girare manopole, sollevare leve e chiudere interruttori. Sarebbe una scena molto divertente da vedere, ma con ogni probabilità la nostra centrale nucleare rischierebbe di provocare una catastrofe!

E allora? E allora, naturalmente, il computer comincerà con l'occuparsi personalmente di leggere temperature, pressioni e cosí via. Certo, non ci aspettiamo di vedere un robot che gira gli occhi per controllare il livello di un termometro! Il computer avrà delle specialissime unità d'ingresso che sentono queste grandezze fisiche – temperature, pressioni eccetera – e che si chiamano appunto "sensori": tocca a loro trasformare il valore delle grandezze in numeri che siano comprensibili per il nostro amico elettronico, il quale, dunque, riesce ad avere velocemente tutte le informazioni di cui ha bisogno, e poi?

L'automazione, nelle fabbriche, libera sempre piú l'operaio dai compiti ripetitivi, e, allo stesso tempo, aumenta il controllo sulla qualità dei prodotti. Le macchine utensili nella foto qui sopra, ad esempio, sono controllate da piccoli computer speciali: possono ripetere le stesse azioni senza cadere nella follia del povero Charlot in *Tempi moderni*... e senza distrarsi!
A sinistra: due "stazioni" dove si provvede al montaggio di motori: un computer controlla che non ci sia nulla di strano - di sbagliato o non funzionante - e segnala gli eventuali guasti sul video, in modo che un uomo possa intervenire manualmente a risolvere i problemi.

Chi lo ha programmato doveva per forza avere un'idea abbastanza precisa del come funziona la centrale nucleare: e doveva essere capace di tradurre questa idea in termini molto esatti, in un modello matematico. Vale a dire in un insieme di equazioni in cui ci sono "variabili" (cioè grandezze che a seconda dei casi possono assumere tanti valori diversi) che rappresentano, poniamo, la posizione delle barre di grafite, cioè qualcosa che nella realtà possiamo controllare direttamente, facendo funzionare il meccanismo che tiene sollevate le

Sopra: in agricoltura le macchine possono controllare metodi avveniristici per fornire luce e nutrimento alle piante e ottenere alla fine raccolti anche nelle situazioni piú difficili.
A destra: sono oramai numerose le stalle in cui tanti piccoli computer calcolano la dieta migliore per ogni animale, controllano le sue condizioni di salute, la produzione di latte... Amico Computer è dunque un utile compagno dell'industrializzazione!

barre. E ci sono altre variabili che rappresentano la temperatura, la pressione dei gas e via dicendo: cioè le grandezze fisiche che variano come conseguenza delle azioni che noi abbiamo fatto prima. E le equazioni (che sono di solito molto ma molto complicate) devono fare in modo che questo secondo gruppo di variabili (le "variabili controllate") cambi di valore in modo da rappresentare esattamente quel che succede in realtà nella nostra centrale nucleare

quando noi facciamo degli interventi sulle "variabili di controllo".

Ah, già, occorre aggiungere qualcosa: il modello matematico può funzionare anche al contrario: vale a dire che, a seconda dei valori assunti dalle variabili controllate, noi possiamo calcolare come dobbiamo far cambiare le variabili di controllo perché tutto si svolga secondo i nostri desideri!

A questo punto, proviamo a considerare un caso possibile e vediamo cosa succede. I sensori segnalano al computer che il liquido di raffreddamento sta surriscaldandosi: la macchina calcola di quanto la temperatura si è modificata, e in base al modello matematico del reattore nucleare stabilisce di quanto deve modificare la posizione delle barre di grafite, la portata del liquido di raffreddamento e cosí via. E, una volta fatti i calcoli, naturalmente li mette in pratica inviando i segnali di controllo a motori, valvole e altri oggetti simili. Dopo di che, continua a leggere le solite informazioni e continua a lanciare comandi,

fino a quando non stabilisce che tutto è tornato alla normalità e che non c'è piú bisogno del suo intervento straordinario (attenti: il computer non si distrae certo solo perché tutto va bene!).

Un computer che fa un lavoro del genere si chiama "calcolatore di processo": e di calcolatori di processo in giro per il mondo ce n'è una quantità, oramai. Negli impianti petrolchimici, sulle catene di montaggio, nelle fabbriche di componenti elettronici... ma poi ce ne sono anche che controllano le incubatrici delle aziende agricole, dove migliaia di pulcini aspettano di nascere, o che comandano la produzione di generi alimentari o l'imbottigliamento delle bibite o anche il taglio delle stoffe per produrre i vestiti (a tagliare il tessuto in questo caso non sono antiquate forbici, ma modernissimi raggi laser!). In molti

casi, anzi (e la centrale nucleare è uno di questi), di calcolatori elettronici non ce n'è uno solo: ce n'è una intera compagnia, occupatissima a scambiarsi informazioni sul proprio lavoro... oltre che a lavorare, naturalmente. Abbiamo quel che si chiama un "sistema distribuito" (nel senso che ci sono molti calcolatori distribuiti in giro per la fabbrica o sull'impianto). Vogliamo scoprire perché si usa un sistema del genere?

Ci sono diverse ragioni per mettere un bel po' di calcolatori invece di uno solo, piú grande. Per cominciare, una macchina sola centralizzata sarebbe per forza una macchina grossa, costosa, e magari non riusciremmo nemmeno a trovarne una adatta. Per di piú, dovremmo mettere una quantità di cavi per portare segnali elettrici di qua e di là, cavi che raccolgono informazioni e portano comandi in tutti i punti della fabbrica. Per quanto siano veloci, i segnali elettrici impiegano un certo tempo a fare il loro viaggio... e se il viaggio è lungo, possono subire una quantità di incidenti. Possono esserci dei disturbi che li rendono incomprensibili. Qualcuno può tranciare un cavo con il tacco, passando... si intuisce subito che ci sono meno pericoli, se il calcolatore è vicino al punto in cui nasce un segnale o in cui occorre un comando.

E inoltre, proviamo a pensarci, il povero computer dovrebbe occuparsi contemporaneamente di una quantità di cose. Saltare da un compito ad un altro, e poi interrompere il secondo perché è arrivato un allarme da un terzo punto, ricordarsi di fermare la macchina A fino a quando la macchina B non ha terminato il proprio lavoro... c'è il rischio che non ce la faccia a occuparsi di tutto abbastanza in fretta, in tempo reale: ma d'altra parte, qui, tempo reale significa che il calcolatore deve completare i suoi calcoli nel tempo indispensabile per potere comandare valvole, motori, laser, bruciatori, aggeggi d'ogni genere, cosí

Sopra: un raggio laser (controllato da un computer, che "verifica" il suo lavoro fino al millesimo di millimetro) mentre taglia una lastra di cristallo. Molte tecnologie moderne si alleano nelle fabbriche per eseguire lavori che, fino a pochi anni fa, venivano svolti a mano e "a occhio" da abilissimi artigiani.
A destra: una dimensione diversa... il gigantesco robot avvita un bullone di dimensioni adeguate.

da garantire che tutto funzioni bene e che non succedano catastrofi. Già, perché un calcolatore di processo può provocare dei guai ben piú gravi che non sbagliare la prenotazione su un aereo!

Ma proviamo a pensare di mettere un computer - piccolino, magari, anche uno micro - in ogni punto in cui ci serve il suo lavoro. Uno che controlla il taglio delle lamiere, se stiamo costruendo automobili. Uno che verifica la loro saldatura. Un altro ancora che ha il problema di controllare la verniciatura... cer-

to, fra di loro tutti questi computer devono conversare: ma intanto ognuno di loro si occupa con grande efficienza del proprio lavoro; e naturalmente trasmettersi informazioni del tipo “io ho già finito, e tu?” è molto meno complicato che non trasmettere misure, comandi e cose del genere. Inoltre, anche un computer può guastarsi! Se ne abbiamo uno solo, nel momento in cui questo si guasta dobbiamo riuscire a bloccare tutto l’impianto (magari a mano!): e prima ancora dobbiamo scoprire se si è guastato, il che può essere un lavoro molto delicato. Se invece ne abbiamo molti, nulla vieta che si interroghino l’un l’altro sul proprio stato di salute... tipo “sei ancora capace di fare una moltiplicazione?” oppure “riesci a capire quel che ti dico?” e altre verifiche di questo genere. Saranno i calcolatori sani a lanciare l’allarme sulle condizioni di salute: e magari saranno perfino in grado di sobbarcarsi il suo carico di lavoro, fino a quando non l’avremo riparato.

Forse qualcuno può sentirsi un po’ preoccupato, pensando a tutta questa automazione: qualcuno che preferisce l’occhio d’un uomo a quello di una macchina, che si fida di piú di un tecnico in camice bianco che non di un computer chiuso nella sua gabbia di plastica e metallo.

Be’, ancora per molti anni uomo e computer lavoreranno fianco a fianco: la completa automazione di fabbriche e impianti richiede ancora molti perfezionamenti e molte scoperte. Ma, per chi è scettico nei riguardi delle macchine e della loro sicurezza, c’è qualcosa da ricordare...

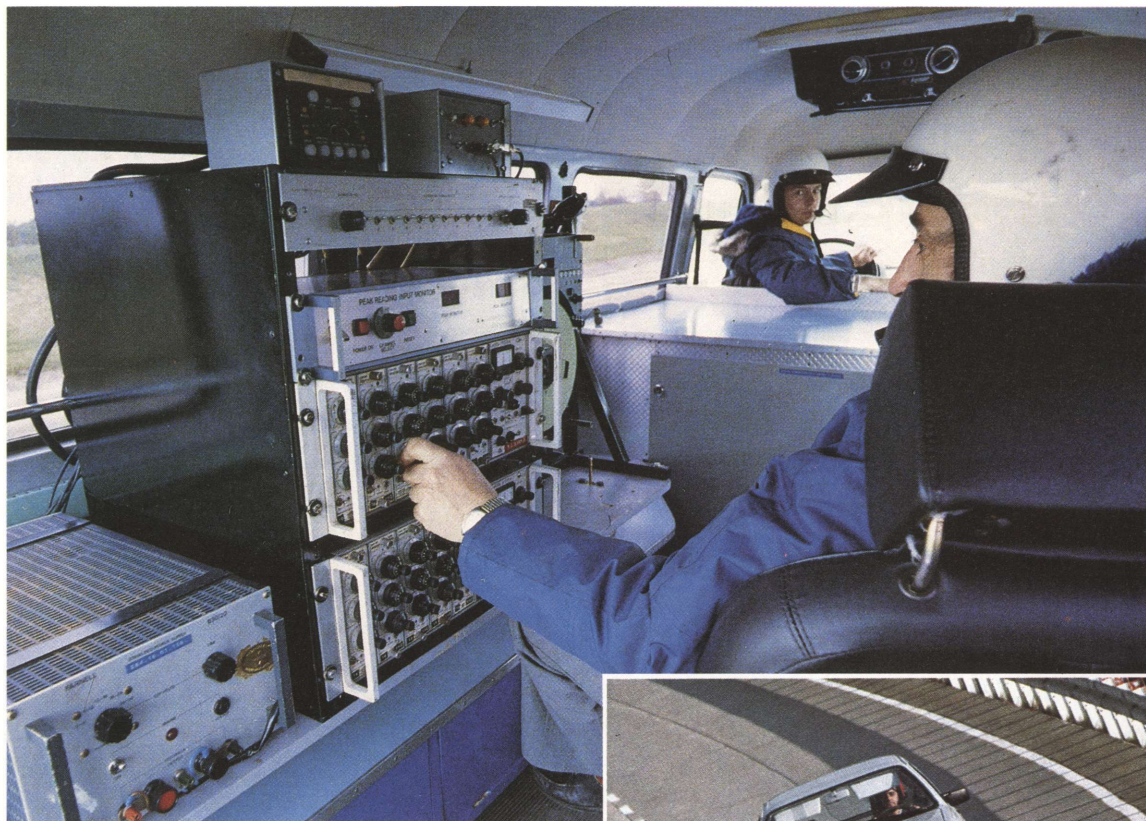
Quando, anni fa, ci fu un incidente (fortunatamente senza gravi conseguenze per gli uomini) nella centrale nucleare di *Three Mile Island*, in America, si scoprí che tutto il problema era nato per un’incredibile serie di distrazioni ed errori umani. Il computer, lui, aveva continuato a funzionare tranquillamente... e correttamente!

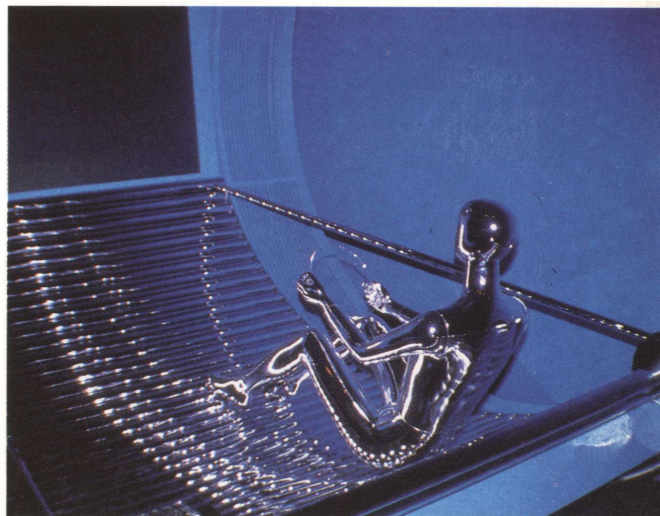
Un computer al rallye di Montecarlo?

Qualche spiritoso ha detto che i nuovi aerei rischiano di essere dei computer con le ali: ma se le cose continuano al ritmo attuale, finirà che le auto diventeranno dei computer con le ruote!

I fabbricanti di automobili avevano già da tempo provato a mettere un po' di elettronica nel motore: cose tipo l'accensione elettronica e cosí via. Verso il 1976, però, si trovarono di fronte a un assortimento di novità. Il microprocessore, il chip, era già una realtà affermata. In cambio, la benzina cominciava a diventare un lusso e i clienti non chiedevano piú (o non solo) motori sempre piú potenti e ripresa da Formula 1, ma pretendevano motori che risparmiassero carburante. E infine, negli Stati Uniti, e soprattutto a Los Angeles, il problema dell'inquinamento atmosferico dovuto ai gas di scarico delle automobili era divenuto intollerabile, ed erano apparse delle leggi che imponevano la costruzione di auto capaci di produrre gas di scarico poco inquinanti. Insomma, c'erano due grossi problemi – il consumo e l'inquinamento – e c'era un oggetto che poteva fornire la soluzione a tutti e due!

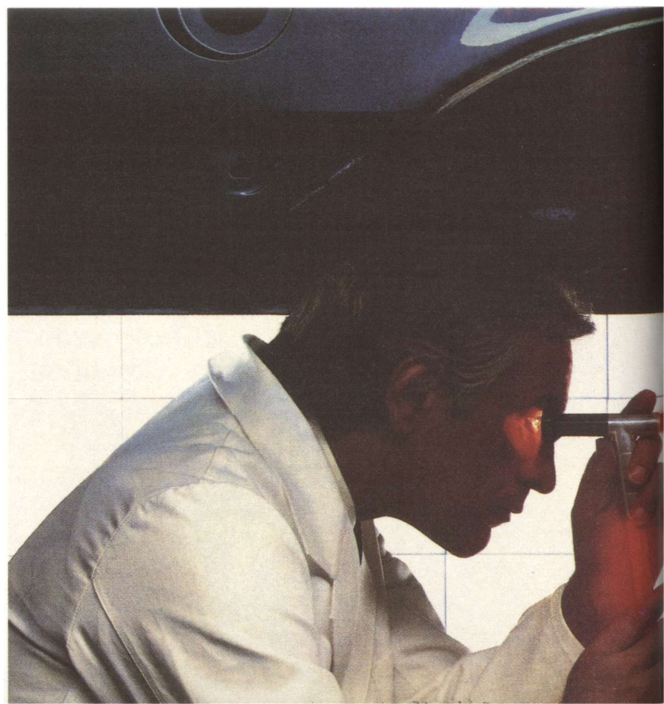
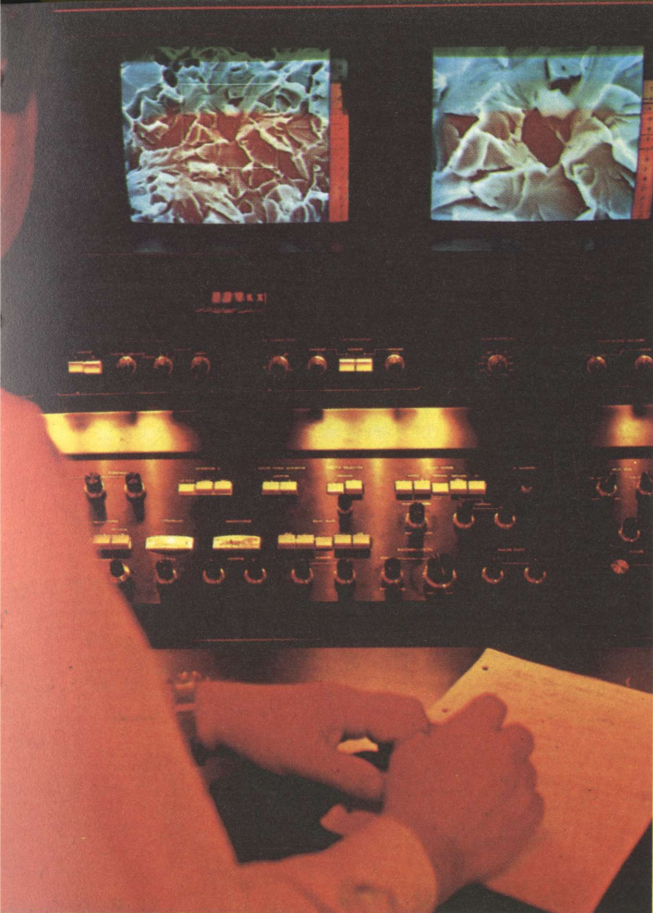
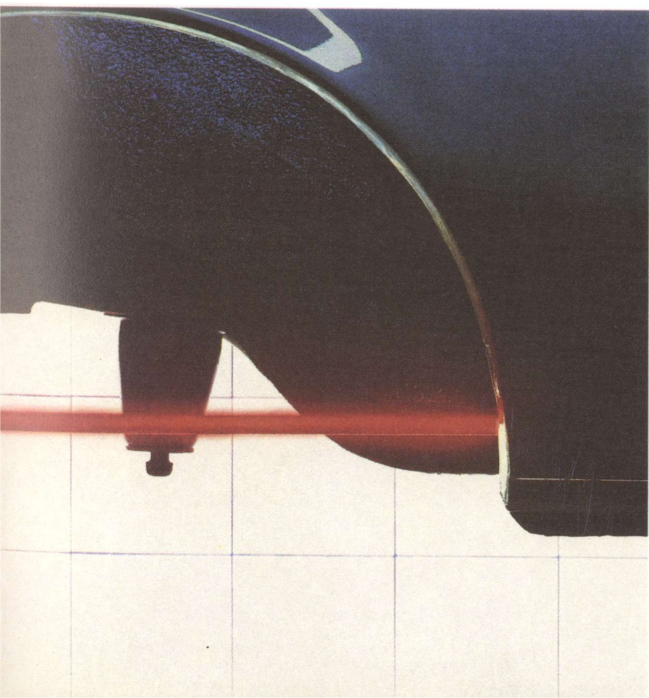
Il primo microcomputer salí a bordo proprio per controllare il motore: sulla base di un insieme di dati che riguardavano la velocità dell'auto, la marcia inserita dal guidatore e la composizione dei gas di scarico, il chip doveva calcolare rapidamente la miscela ottimale di combustibile e di aria: cioè la miscela che avrebbe fatto funzionare il motore nel modo migliore, producendo dei gas di scarico il piú possibile puliti (sistemi di questo genere sono usati, in particolare, per i motori a iniezione).

Costruire un tal marchingegno fu in realtà niente affatto semplice: bisognava fabbricare anche dei sensori capaci di calcolare a grandissima velocità cose co-

A sinistra: un video che riproduce fedelmente il collaudo in una galleria del vento.
Sopra: una "stazione mobile" che segue il prototipo durante le prove su pista. Infiniti trasmettitori, a bordo dell'auto, inviano le piú svariate informazioni direttamente dalla pista; c'è perfino un manichino (in basso a destra) che tenta di simulare le sensazioni di un guidatore...

me la quantità di ossido di carbonio nei gas di scarico o la percentuale esatta d'aria presente nella miscela di benzina! Il microcomputer funzionava proprio come un minuscolo calcolatore di processo, ma l'acquirente dell'automobile pretendeva che tutta quella raffinata elettronica costasse molto poco, sicuramente meno delle cromature opzionali sulle fiancate della vettura. Comunque, dopo molti studi, si riuscí a costruire dei sistemi che funzionavano, e bene, che garantivano un livello ragionevolmente basso dell'inquinamento e al tempo stesso permettevano di risparmiare un

Sopra: in una fabbrica moderna, il computer può anche fare la parte... del medico. Sicuro, gli esperti parlano proprio di "diagnosi": innanzitutto, si tratta di verificare che... l'operatore-uomo non abbia fatto errori! Questa macchina sta ripetendo i comandi che il tecnico le ha fornito, come a dire "ti ho capito bene? Sei proprio sicuro?".

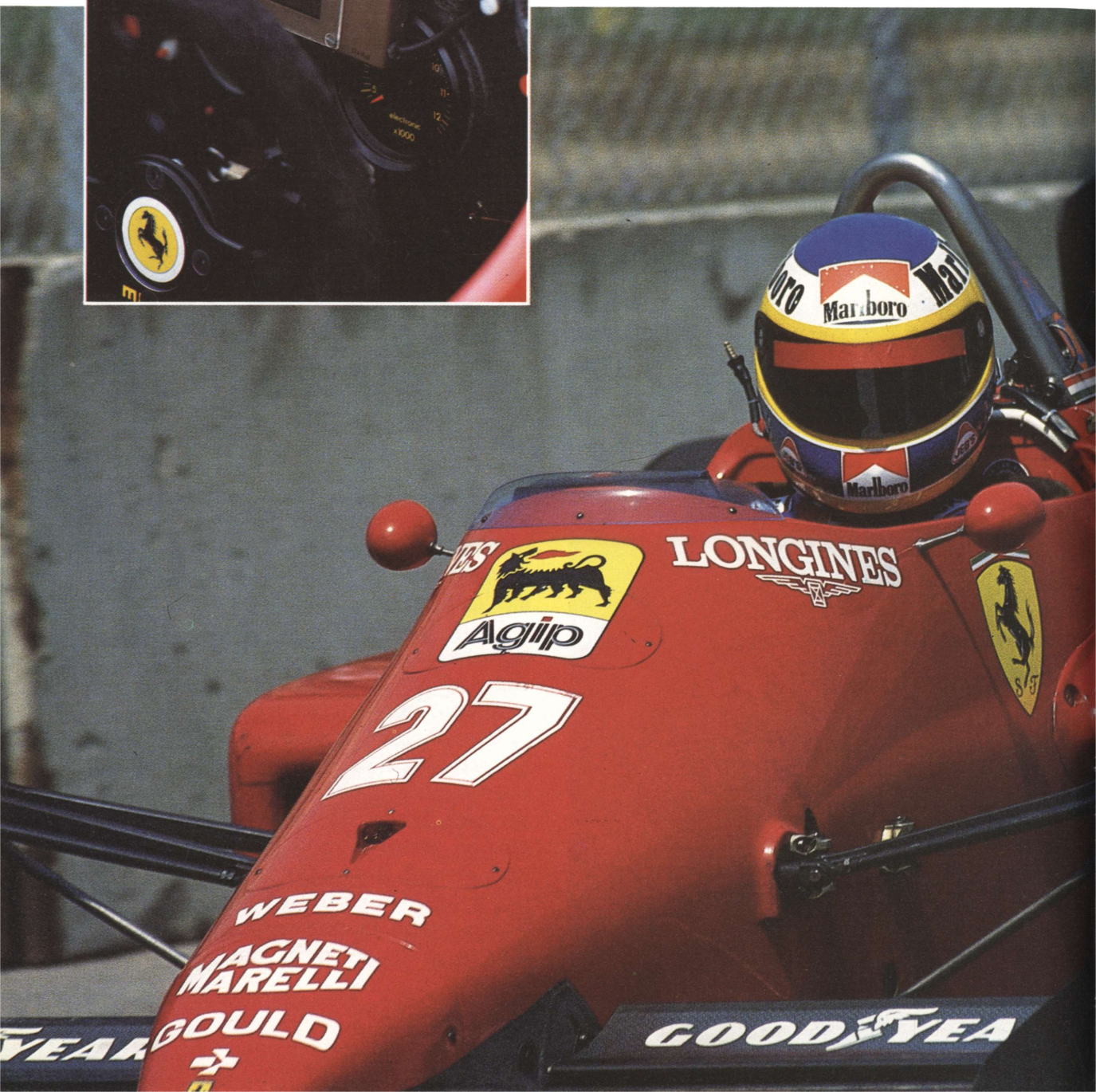
bel po' di carburante: fino a un quarto di quello che sarebbe stato il consumo di un motore dello stesso tipo, senza elettronica. Oggi, di auto col motore controllato elettronicamente ce n'è in giro una quantità: americane, giapponesi, europee... auto su cui il computer tiene d'occhio il numero di giri, le informazioni inviate dall'acceleratore piú o meno premuto, tutte queste cose, per poi regolare l'invio del carburante al motore e magari cambiare marcia in modo molto piú saggio di quanto farebbe il guidatore, oppure per intervenire in fretta quando il motore al minimo sta per spegnersi, e via di questo passo.

E, come al solito, una volta salito a bordo il computer (anche se micro) cominciò a conquistarsi sempre nuovi impieghi. Dopo tutto, su un'auto non esiste solo il motore! Vogliamo vedere che cosa succede su alcuni modelli già sulla strada?

Prendiamo le sospensioni idrauliche, per esempio. Per la precisione, si dovrebbe parlare di sospensioni ad aria compressa: quelle che si usano da molti anni nelle vetture Citroen di grande dimensione, tanto per dirne una. Con questo tipo di sospensioni, l'aria compressa viene inviata in quelle che sono delle specie di "molle ad aria" in modo da sollevare o abbassare la carrozzeria a seconda del carico che c'è sull'auto (bagaglio nel baule? Passeggeri sul sedile posteriore? E cosí via...) e a seconda delle condizioni della strada, in modo da assorbire gli scrolloni che i passeggeri rischiano di subire. Cosa può fare il microcomputer? Ecco un elenco completo:
- appena si inserisce la chiave dell'accensione, regola il livello dell'auto a seconda del carico;
- bada a mantenere l'auto orizzontale, anche se il carico sul sedile posteriore è diverso da quello sul sedile anteriore;
- durante il viaggio, calcola i comandi

Sopra: un computer collegato a un microscopio elettronico sta verificando che non ci siano minuscole fratture nei materiali dell'auto.
Sotto: ecco un'autentica diagnosi medica. Il tecnico sta usando un endoscopio (uno strumento fatto di fibre ottiche) per scrutare dentro cavità piccole e oscure di una macchina, alla ricerca di guasti.

da inviare alle sospensioni in modo da attutire i sobbalzi dovuti a una strada accidentata, o a una guida spericolata;
- quando il guidatore frena, impedisce che l'auto abbassi il muso bruscamente;
- quando l'auto si ferma e qualcuno apre una portiera, impedisce all'auto di abbassarsi, per evitare che la portiera si incastri nel marciapiede (a chi non è capitato?)... e cosí via.

Ci sono altre funzioni ancora piú importanti - come controllare la temperatura dell'acqua nel radiatore o la pressione dell'olio - o addirittura vitali, come verificare lo stato dei freni. Perché non affidare anche queste operazioni a un microcomputer? Be', ovviamente qualcuno ci ha pensato: ma c'è un piccolo problema. Esiste un limite al numero di lucine e indicatori che possiamo disseminare sul cruscotto: se ce ne sono troppi, c'è il rischio che il guidatore si distragga per guardarli, o che al contrario li ignori, e non si sa quale delle due alternative sia la peggiore. E allora, su alcune auto, il calcolatore parla anche: sicuro, parla! In tono molto gentile, osservando "Ha inserito il freno a mano" oppure chiedendo "Per favore, controlli il livello dell'olio nel motore", o "Per favore, verifichi i fari posteriori". Un'auto particolarmente loquace (la *Toronado*) è capace di farvi tutto un lungo discorso: supponiamo che la temperatura dell'acqua nel radiatore stia salendo oltre il normale. L'auto comincia col dire "Il motore si sta surriscaldando. Spenga il condizionatore d'aria e rallenti per alcuni minuti, finché non sentirà il prossimo messaggio".

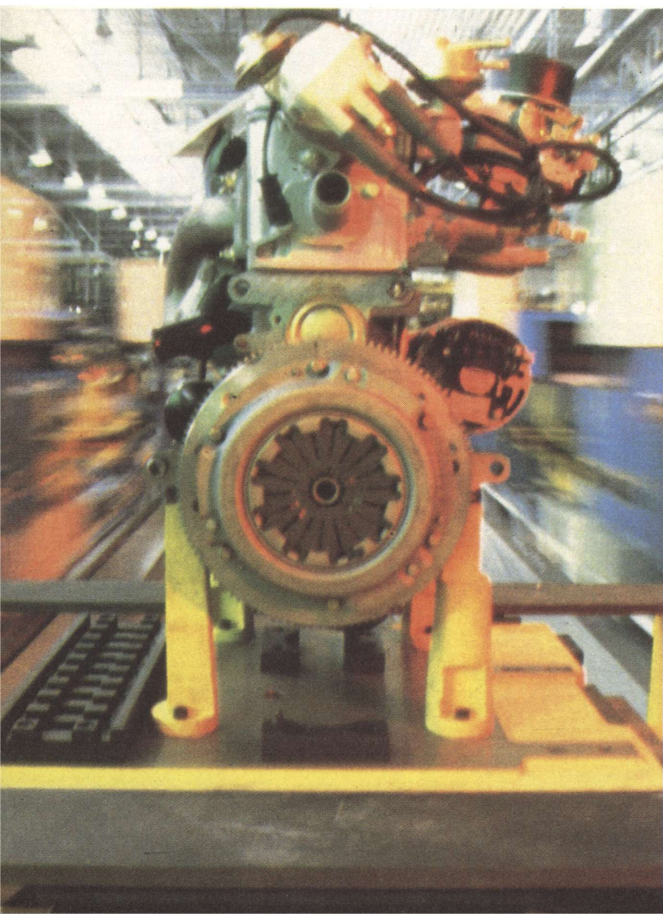
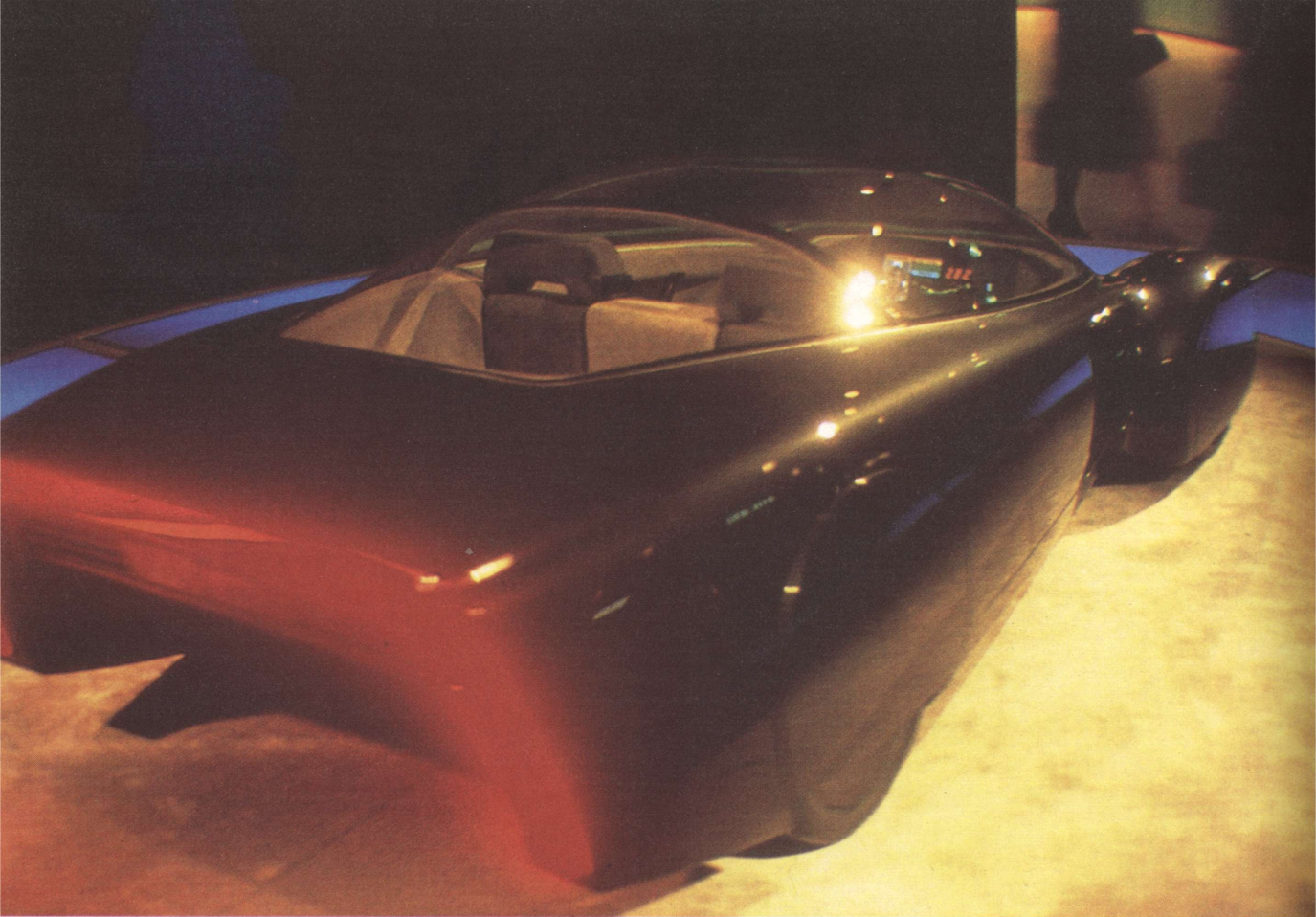
E se il guidatore fa finta di niente? L'auto non si dà per vinta: dopo un minuto o giú di lí protesta "Il motore si sta surriscaldando. Si fermi in un posto sicuro e metta il motore in folle finché non sentirà il prossimo messaggio". Se poi proprio il guidatore non obbedisce, l'auto perde la pazienza: "Il motore è surriscaldato. Fermi il motore e legga il

Le auto di Formula 1, oggi, sono degli autentici "mostri" che assomigliano ben poco all'auto di famiglia: un progettista ha addirittura spiegato che un'auto da corsa è qualcosa che deve andare a pezzi due metri dopo aver passato il traguardo... per prima, naturalmente! Eppure, su queste auto infernali si collaudano spesso tecnologie e soluzioni che poi troveranno la strada per arrivare fino alla nostra tranquilla utilitaria. Guardiamo questa *Ferrari* che sta aggredendo la pista durante una gara: un microcomputer presenta al pilota, su un piccolo display montato nel cruscotto, tutte le informazioni vitali sullo stato di salute e il comportamento del motore (qui a sinistra). Fra un anno, lo ritroveremo sull'auto di famiglia!

manuale". Ma se le cose si sono rimesse a funzionare bene, verrà un rassicurante "La temperatura del motore è tornata normale. Può riprendere a guidare senza problemi".

Molte automobili di lusso, poi, hanno quello che si chiama "il computer di viaggio", il "trip computer". All'inizio di un viaggio il guidatore dà al computer la distanza dalla sua destinazione – 620 chilometri, per esempio – e il calcolatore, ogni volta che glielo si chiede, fornirà una serie di informazioni tipo:
- quanta strada si è già percorsa e quanta ne resta da percorrere;
- quanta benzina si è consumata (e quanta ne resta nel serbatoio);
- qual è stato il consumo di carburante;
- qual è stata la velocità media, e a che ora ci si può aspettare di arrivare se si mantiene la stessa media.

Certo, resta sempre il problema di tutte quelle lucine e indicatori di cui si parlava prima. Una soluzione sperimentale, su alcuni prototipi della Ford, è quella di sostituire all'infinità di indicatori un unico schermo video a colori, inserito nel cruscotto al solito posto dove ci aspettiamo di trovare la strumentazione, e che a seconda di quanto chiede l'automobilista fornisce informazioni sulla temperatura, il consumo di benzina, la distanza che si può ancora percorrere prima di trovarsi col serbatoio a secco, e anche delle informazioni vitali sullo stato di salute dell'automobile.

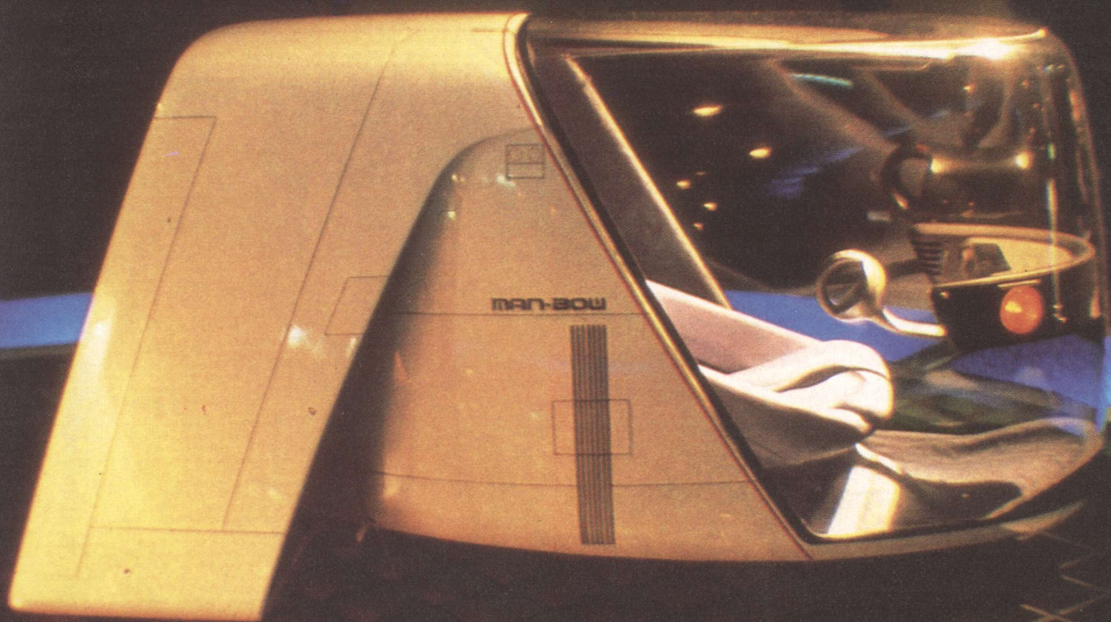
Già, perché il computer, a bordo, dà anche una mano al meccanico, che potrebbe trovarsi un po' nei guai, con una macchina diventata cosí complicata. Ma l'amico computer può mettersi a fare la diagnosi dell'auto, a cominciare da... dal computer stesso (anzi, dai vari microcomputer distribuiti qua e là). Poi si preoccupa dell'impianto elettrico di bordo – in particolare, della ricarica delle batterie – dell'accensione, dello sterzo, del cambio... insomma, di tutte le parti piú importanti. Ed è anche capace di tenere nota dei malfunzionamenti durante il viaggio, registrandoseli in una particolare memoria, cosí che quando il meccanico farà i suoi controlli potrà avere anche le informazioni sui "doloretti" che il motore ha sentito in precedenza.

A proposito di guai: un tipico problema, quando si guida su una strada bagnata, o peggio, gelata, è che, frenando, le ruote si blocchino, cosí che l'auto comincia a slittare: è una fonte di incidenti

Alla famosa Esposizione di Tsukuba, non potevano mancare le auto del futuro: quelle super-intelligenti, super-brillanti, insomma, le auto da fantascienza come quella sopra. Oppure i "moduli di trasporto cittadino" (a destra), specie di tram per una o due persone, che si muovono nel traffico urbano ascoltando i comandi di mille computer, compreso quello della polizia. A sinistra: i motori piú moderni, come questo *Fire 1000*, sono stati disegnati con l'aiuto del computer. Lo scopo? In questi tempi di crisi energetica, si vuole ottenere il massimo delle prestazioni col minimo di consumo!

anche molto gravi, come potete intuire. Ebbene, su certi modelli c'è un microprocessore che controlla il funzionamento delle ruote e, non appena si rende conto che sta per verificarsi questo blocco, manda i comandi opportuni ai freni: almeno idealmente, gli scontri su fondo scivoloso dovrebbero diminuire drasticamente! E anche se si verificassero, un altro microcomputer si precipite-

rebbe a gonfiare dei cuscini pieni d'aria, che proteggerebbero i passeggeri dagli urti e dai micidiali "colpi di frusta".

E in un futuro non molto lontano, quali novità ci aspettano? C'è già un prototipo della Chrysler che monta un sistema da epoca spaziale chiamato "CLASS": una cosa sofisticatissima che utilizzano anche i satelliti artificiali *NAVSAT*, messi in orbita per consentire alle navi di determinare con esattezza la propria posizione. Anche il computer sull'auto riceve dal satellite lo stesso tipo di informazioni, e quindi calcola dove l'auto si trova; a questo punto, utilizza un atlante di 13 000 carte automobilistiche – una piú, una meno – registrate su un disco-laser! Il computer stabilisce qual è la carta giusta, al momento, e la fa comparire su uno schermo a colori posto fra il guidatore e il passeggero. Il guidatore comanda il computer sfiorando lo schermo (si tratta di un video molto speciale, come avrete intuito): può chiedere un ingrandimento della mappa, per esempio, oppure selezionare la carta della regione in cui sta per arrivare, e cose del genere. Sarà molto difficile perdere la strada, a questo punto!

Anche in Europa e in Giappone ci sono prototipi quasi altrettanto avveniristici. Computer che ricevono le informazioni trasmesse dalla polizia sulle condizioni del traffico e che consigliano il guidatore su quel che gli conviene fare. Che misurano (con un sistema simile a un radar) la distanza dall'oggetto piú vicino e poi segnalano "attenzione, non siamo a distanza di sicurezza!". Che controllano, centimetro per centimetro, la distanza dell'auto ferma subito dietro, o dal marciapiede davanti, durante una manovra di parcheggio, molto meglio di quanto farebbe il guardiano del parcheggio. Che collaborano col meccanico, quando questi si preoccupa di fare un po' di manutenzione. Insomma, che fanno quasi tutto meno che tenere le mani sul volante: ma forse manca poco anche a questo!

Chi c'è nella cabina di pilotaggio?

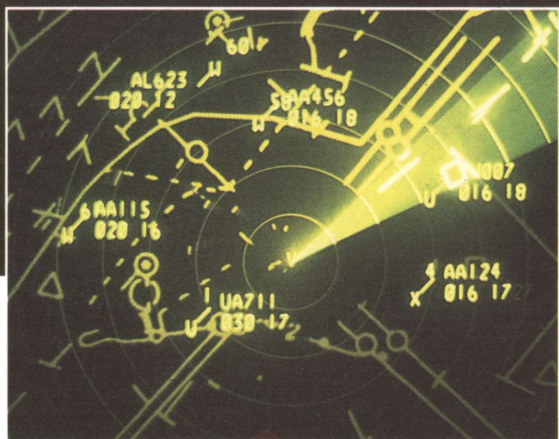
Ai tempi eroici dell'aviazione – quando Charles Lindbergh attraversò l'Atlantico tutto solo su un piccolo aereo monomotore, per intenderci – un pilota d'aereo era veramente "unico signore dopo Dio", come usavano dire nell'Ottocento i comandanti dei velieri. Toccava a lui decidere il regime del motore, stabilire l'altitudine a cui volare, valutare se stava seguendo la rotta prevista, cavarsela con le condizioni atmosferiche...

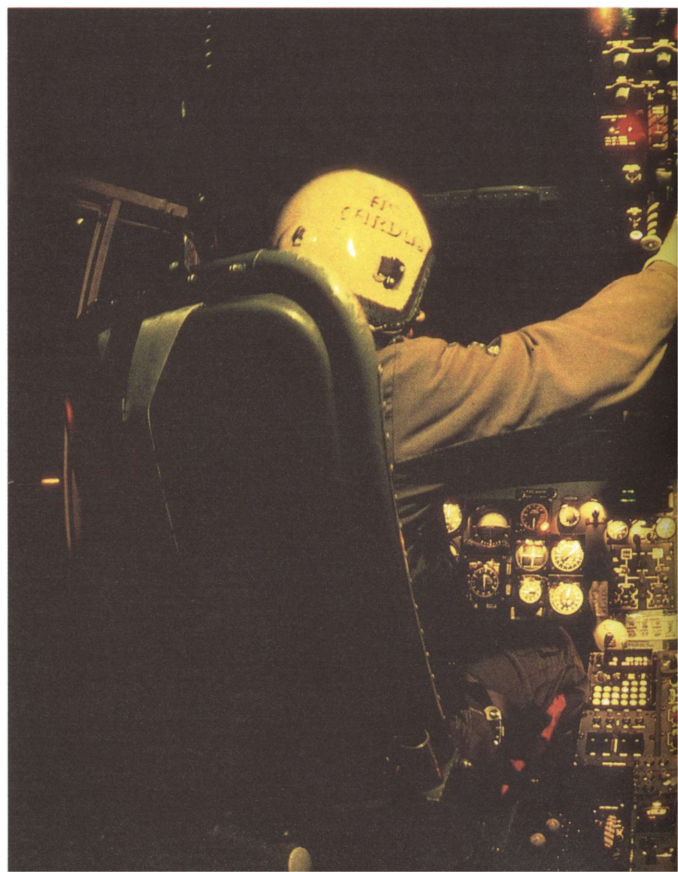
Poi, un poco alla volta, una quantità di strumenti elettronici hanno invaso la cabina di pilotaggio. Altimetri che dicono a quale altezza si sta volando; strumenti che specificano qual è l'"assetto" del velivolo (cioè in quale posizione sta volando); radar; quadranti assortiti che forniscono una quantità di notizie sui motori, sulla temperatura e la pressione atmosferica all'esterno, sulla pressione nella cabina dei passeggeri e via di questo passo. Lo spazio davanti al pilota e sopra alla sua testa è invaso da lucine colorate, indicatori, interruttori... ma oggi si sta sostituendo tutto questo con pochi schermi elettronici. E, inevitabilmente, con un computer, anzi, con un'intera serie di computer!

Volano già molti aerei dotati di pilota, copilota e computer. I primi esemplari di questo tipo sono stati velivoli militari, ma ormai ce ne sono diversi adibiti ad uso civile, come certi modelli della Boeing e l'*Airbus*, su cui i calcolatori elettronici si sono insediati di prepotenza. Vogliamo vedere cosa fanno?

A bordo, occorre svolgere una quantità di compiti, e in poco tempo. Prima di tutto, c'è il controllo di volo, che deve occuparsi di problemi come comandare i motori, controllare la spinta che danno, orientare gli alettoni e via dicendo. Poi si devono ascoltare tutte le informazioni che vengono da terra e leggere i dati dei vari radar: quello meteo-

Oggi, buona parte del traffico di un aeroporto viene guidata dal computer nella torre di controllo; e si parla della "prossima generazione di traffico aereo", nella quale radar e supercomputer collaboreranno per garantire ai passeggeri la massima sicurezza e regolarità dei voli. Conversando, naturalmente, con i vari computer rintanati dietro gli strumenti della cabina di pilotaggio...

rologico, quello che indica la pressione del velivolo, quello che identifica gli altri oggetti volanti nei dintorni. Ci sono informazioni sull'assetto del volo, e altre sulla situazione atmosferica. C'è il sistema che cerca automaticamente la direzione... e poi altri strumenti ancora che controllano se i motori funzionano bene, o se, poniamo, la loro temperatura ha superato i valori-limite (questo indicherebbe un pericolo d'incendio). In un aereo di quelli piú recenti, troveremo tutta una famiglia di computer che si occupa di raccogliere questa infinità di dati, di confrontarli con i valori previsti, di mandare i comandi ai motori, di

controllare il volo... e, logicamente, anche di fornire al pilota tutte le informazioni che gli servono, e se proprio è indispensabile, anche di mettere in allarme il personale di bordo. Come avviene il volo, su un aereo del genere?

All'inizio, pilota e copilota forniscono al computer piú importante di tutto l'insieme – quello che si occupa di coordinare gli altri, come qualunque buon comandante – il piano di volo. Gli dicono cioè dove l'aereo deve andare, quali scali intermedi deve fare (se ce ne sono), quali sono i punti della rotta in cui dovrà virare. E gli danno anche le informazioni che ricevono dai controllori del

traffico aereo: informazioni come le condizioni del tempo, la turbolenza dell'aria in alta quota, la presenza di altri aerei... Poi il pilota decide sul tipo di decollo che vuole effettuare (ci sono tante maniere diverse di salire in quota!) e il computer che comanda la spinta dei motori si affretta ad accontentarlo. Su uno schermo (un "display", nel gergo degli esperti di computer) il pilota vede disegnata la rotta dell'aereo, quella che il velivolo sta seguendo e quella che dovrà percorrere.

A questo punto, se tutto va bene, si può cedere il comando ai computer. Il computer-comandante, quello che si chiama "sistema di comando del volo", si occuperà di controllare l'intero decollo, il volo in quota e le eventuali variazioni di altitudine: e anche di scegliere il punto migliore per iniziare l'atterraggio. Modificherà i suoi calcoli, se il pilota gli fornirà nuovi dati trasmessi dai controllori di volo, a terra. Utilizzando il sistema di atterraggio automatico, il computer potrebbe fare atterrare l'aereo anche in condizioni di visibilità pessima. E, grazie ai suoi calcoli, il sistema automatico permetterà anche di risparmiare carburante: un vantaggio non trascurabile, se pensiamo alla quantità di cherosene ingoiato da un aereo a reazione!

A fronte: la torre di controllo di un aeroporto con i monitor dei vari radar che tengono sotto controllo tutti i "corridoi aerei". Nella foto piccola, ingrandimento di uno dei monitor, in cui il fascio elettronico "disegna" le condizioni del cielo. Sotto: il simulatore di volo di un elicottero, dove i piloti imparano a guidare andando incontro a bufere o motori in avaria, in un paesaggio (qui sopra) che pure "simula" quello reale.

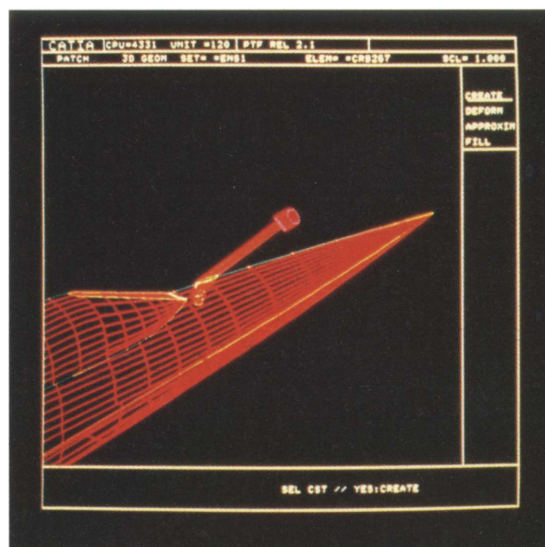
Tutto bello e buono: ma, e se il computer si guasta? E poi, siamo proprio certi che una macchina sia sicura quanto un uomo? I piloti ormai sono abituati ad avere a bordo una quantità di strumenti elettronici, ma molti di loro pensano che non si debba esagerare e che un buon meccanico di volo sia meglio di un computer: i progettisti, dal canto loro, assicurano che è vero il contrario (o quasi). L'unico punto su cui tutti sono perfettamente d'accordo è che la sicurezza dell'aereo (e, ovviamente, di chi c'è a bordo) deve passare davanti a qualunque altra considerazione.

Per questo, evidentemente, occorre che un computer "non si guasti mai". Be', questo è impossibile! Tutto può guastarsi, a questo mondo. Spieghiamoci meglio: vogliamo che la probabilità che il computer si guasti durante il volo sia praticamente zero, diciamo, un caso su miliardi di miliardi di miliardi... e per di piú vogliamo sapere immediatamente quando questo succede, in modo che il pilota possa intervenire e prendere lui personalmente i comandi dell'aereo, escludendo dal lavoro la macchina "ammalata". E, infatti, i calcolatori elettronici cui sono affidate le mansioni piú delicate sono costruiti in modo da diagnosticare automaticamente il proprio stato di salute (sicuro, stabiliscono da soli "c'è qualcosa che non va in questa parte della mia memoria", per esempio) e anche da sopravvivere a un certo numero di guasti, non senza averne infor-

mato anche gli uomini dell'equipaggio, naturalmente! Se ci pensiamo, anche gli esseri umani sono fatti cosí: riescono a continuare il proprio lavoro anche se hanno subito qualche incidente, ma si lamentano abbastanza da informare tutti quelli intorno a loro di quel che gli è capitato!

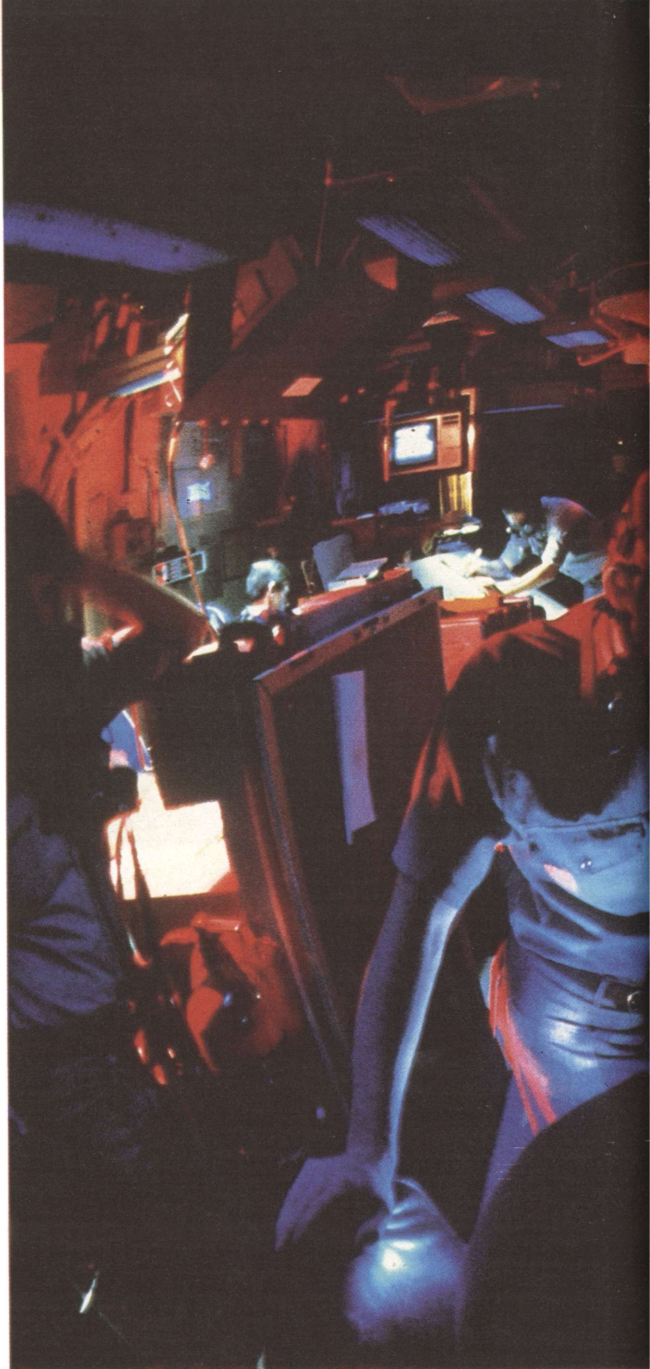
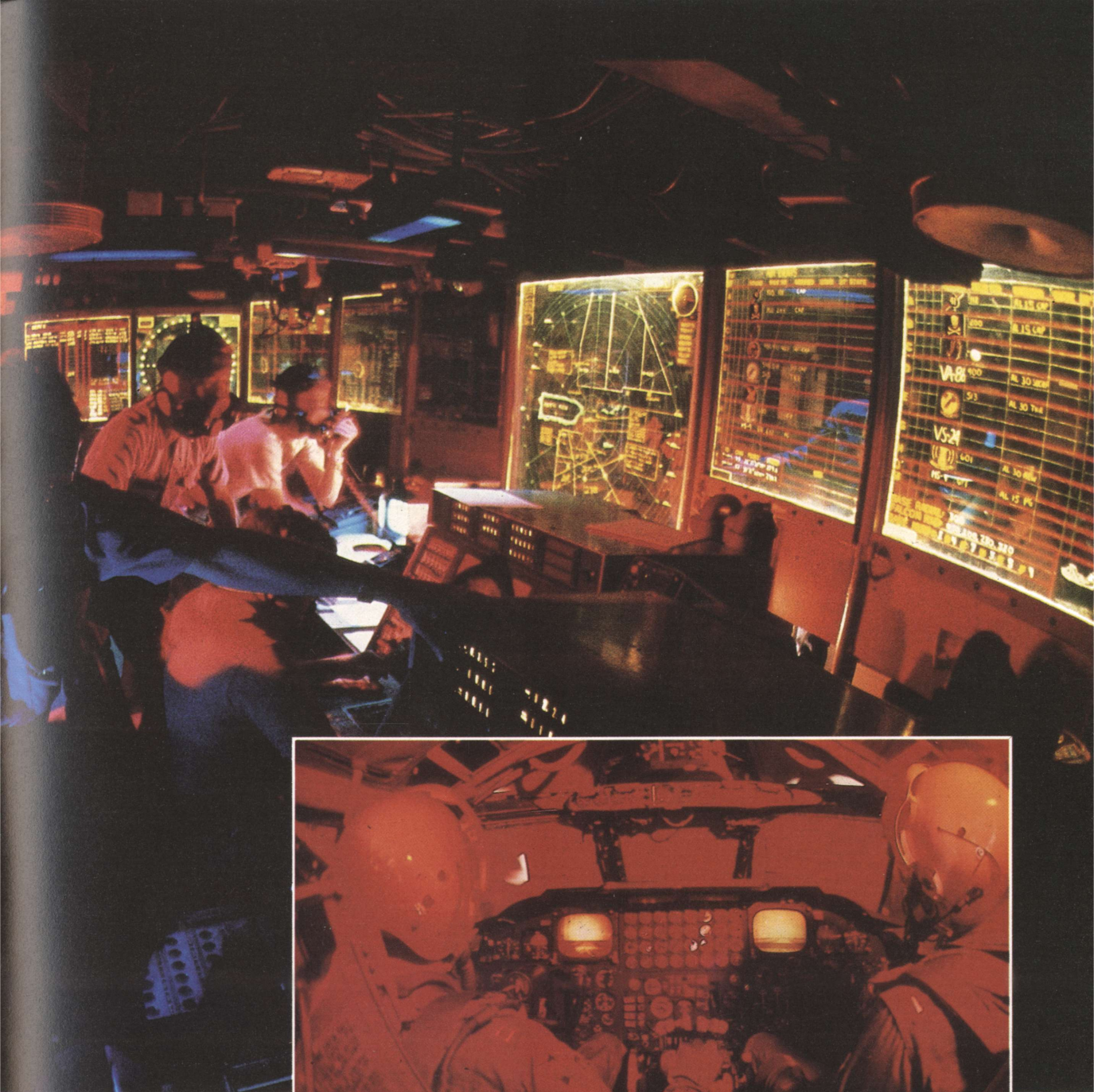
La soluzione migliore, come in tanti altri casi, è probabilmente quella di far collaborare uomo e computer. Un esempio? Si sa che molti degli incidenti aerei si verificano durante l'atterraggio, anzi, durante quella particolare fase dell'atterraggio in cui i piloti smettono di esaminare gli strumenti del pilota automatico per completare le ultime manovre a mano (e fidandosi di quel che vedono dal finestrino). Per qualche frazione di secondo, o magari per qualche secondo, non hanno piú sott'occhio i quadranti e le luci intermittenti, e non si sono ancora familiarizzati con il panorama dell'aeroporto... Ebbene, la soluzione piú semplice (semplice per il pilota che deve usarla, non per gli ingegneri che la progettano!) è quella di proiettare sul cristallo del "parabrezza" l'immagine - ovviamente ricostruita dal computer - della pista d'atterraggio "come dovrebbe essere" se il controllo automatico funzionasse perfettamente. Un'immagine che si sovrappone all'autentica pista d'atterraggio non appena questa diventa visibile: un metodo che familiarizza il pilota con il paesaggio, e che per di piú gli permette anche di controllare immediatamente se l'atterraggio avviene proprio come dovrebbe oppure no, e quindi di intervenire subito per correggere gli errori.

Ma se è possibile costruire l'immagine davanti agli occhi del pilota, perché non farlo anche quando le condizioni atmosferiche, fuori, gli impediscono la visibilità? Perché non mostrargli una "galleria nel cielo", che perfori nuvole e neb-

Sopra: simulazione di un duello con un aereo nemico. Molto spesso, le nuove tecnologie vengono sperimentate in campo militare.
Sotto: la "vista", fatta da un computer, della fusoliera di un aereo militare: la strana appendice serve per il rifornimento in volo.
A fronte: il simulatore di volo sta proprio addestrando il pilota a fare questo tipo di rifornimento.

bie e che gli indichi, magari addirittura in tre dimensioni, dove si trova il velivolo e dove sta andando? La NASA sta collaudando proprio un sistema di questo tipo: e sembra che i risultati siano molto migliori di quelli che si ottengono mostrando al pilota una quantità di numeri e di indicazioni in dozzine di quadranti, e lasciandogli fare la fatica di interpretarli...

Già, ma... quest'idea del computer che costruisce l'immagine della pista d'atterraggio, o del "corridoio aereo" e della "galleria nel cielo", serve proprio solo mentre si vola? Nemmeno per idea: tutte queste cose servono benissimo anche a terra: per addestrare i futuri piloti, cioè.

Certo, ai tempi eroici si poteva sostenere che il modo migliore (e piú semplice) per insegnare a volare fosse molto simile a quello con cui si insegna a guidare un'auto: l'allievo ai comandi e l'istruttore pronto a intervenire se ci sono problemi. Con gli aerei moderni, però, non si può certo immaginare di ricorrere a un metodo cosí primitivo: per cominciare, gli strumenti in cabina sono tanto complicati che un novellino non riuscirebbe a cavarsela, e, per di piú, un aereo costa cosí caro che non ci si può permettere di rovinarne uno (anche senza provocare catastrofi) per insegnare a un aspirante pilota di *Jumbo* tutti i segreti del mestiere. Per i piloti di aerei a reazione, vengono innanzitutto lunghissime ore su un "simulatore di volo"... cioè su una macchina del tutto incapace di sollevarsi da terra!

All'interno, un simulatore di volo si presenta esattamente come la cabina di pilotaggio di un particolare aereo: un *Jumbo*, o un *Airbus*, o un *Super-Ottanta*... al di fuori, è una specie di grossa scatola montata su un complicato sistema di "martinetti idraulici", cioè di macchine capaci di sollevare quel che c'è appoggiato sopra, allungandosi a telescopio come colossali braccia snodate.

L'allievo pilota deve cominciare una manovra d'atterraggio? Benissimo: il computer gli presenta davanti agli occhi le immagini della pista che si avvicina, i dettagli degli impianti aeroportuali, e intanto simula i dati del radar, le risposte della torre di controllo, le informazioni che la strumentazione di bordo fornirebbe nel caso reale, anzi, addirittura, in un "caso particolare"!

Il computer (un computer molto grosso, come si può intuire) che comanda il simulatore di volo, calcolando tutte quelle informazioni da cui il pilota si trova bombardato, è perfettamente capace di istruire l'allievo sulle differenze

Sopra: l'interno di un aereo da guerra. Si dice che un aereo come questo è un "computer con le ali"; a dire il vero, è una famiglia di computer in volo... In alto: la sala di controllo di un centro missilistico: è addirittura un impero di macchinari elettronici, uno piú fantascientifico dell'altro. Già, e se uno di loro si guasta? Il pericolo che un computer "impazzisca" è sempre presente!

niente affatto trascurabili fra un atterraggio, diciamo, a Genova – non solo al livello del mare, ma addirittura sul mare – e uno a Città del Messico, a duemila metri d'altezza, su un altopiano, con l'aria molto piú rarefatta e problemi completamente diversi quando si tratta di vedere come l'aria tiene sollevato l'aereo! E poi, il computer è perfettamente in grado di scatenare una terribile tempesta, e la simulazione è cosí completa e veritiera che il povero allievo-pilota, oltre a leggere dati sconfortanti sui suoi strumenti, vede un panorama infernale fuori dai finestrini e si sente sballottato senza misericordia: alla fine, avrà un'idea estremamente chiara (e del tutto realistica) di quel che significa « trovarsi nell'occhio del ciclone ».

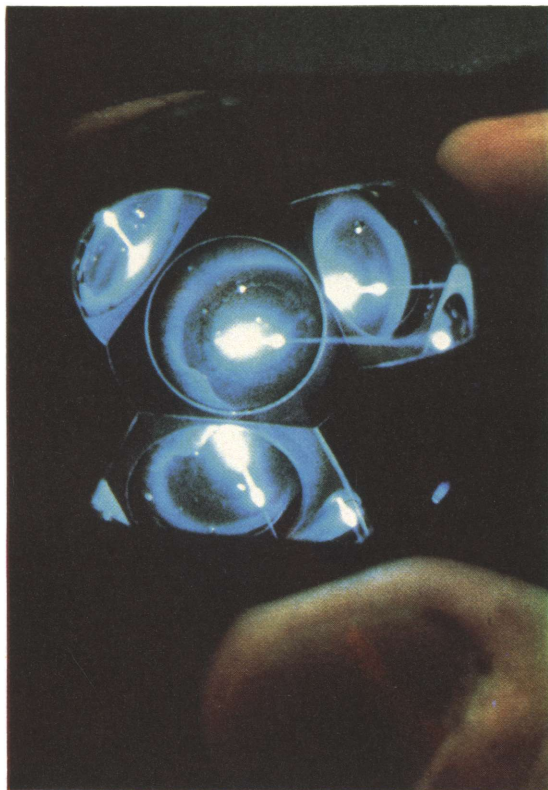
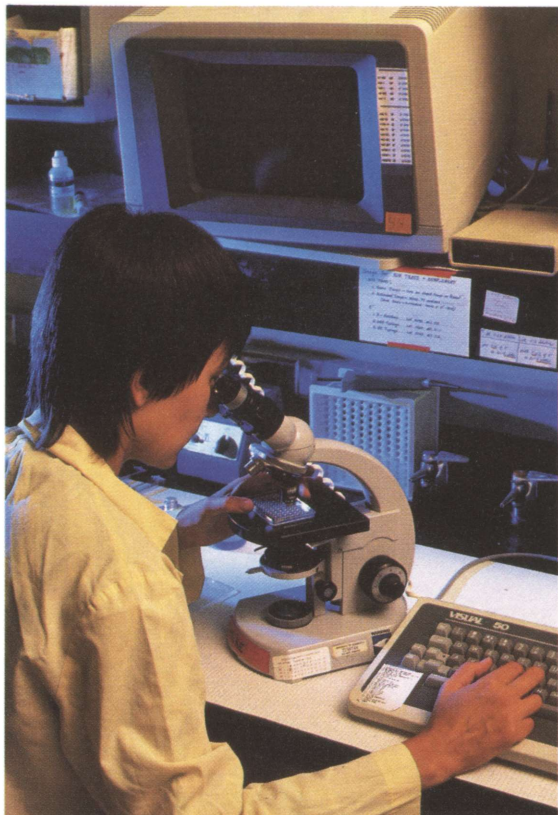
E se fa una manovra sbagliata? Oh, potete esserne certi: il computer gli simulerà anche una catastrofe... proprio come provvederà a precipitarlo in guai del tipo "reattore di sinistra incendiato" o "estremità dell'ala destra colpita da un fulmine" o in altre situazioni altrettanto poco allegre. Tutte cose che gli permetteranno di farsi un'esperienza preziosa – un'esperienza che non gli fa rischiare nulla (salvo la promozione) – ma che potrà permettergli di salvare centinaia di vite umane, se quella situazione drammatica gli si ripresenterà nella realtà.

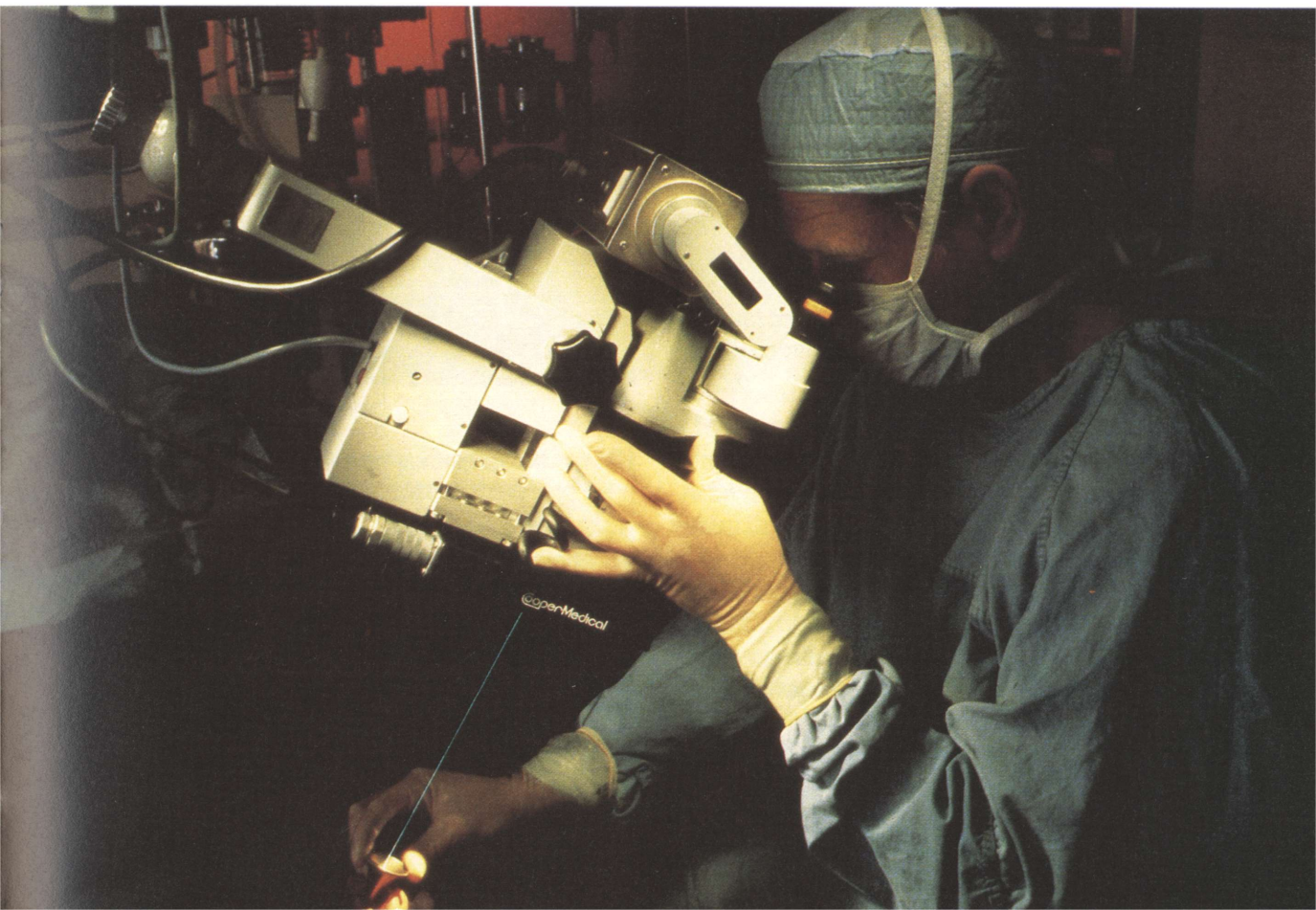
A proposito... potete provare un simulatore di volo su qualsiasi personal computer. Certo, non sarà capace di fare ondeggiare violentemente la vostra sedia se incontrate una tempesta equatoriale, e non potrà guidarvi proprio su tutti gli aeroporti del mondo, ma vi permetterà di divertirvi un bel po', magari con qualche emozione! Perché non provare a decollare dall'aeroporto Kennedy di New York? Perché non tentare di atterrare sulla pista di Miami, senza schiantarvi dopo una catastrofica caduta a vite? Scommettiamo che non ne siete capaci?

Il medico computer

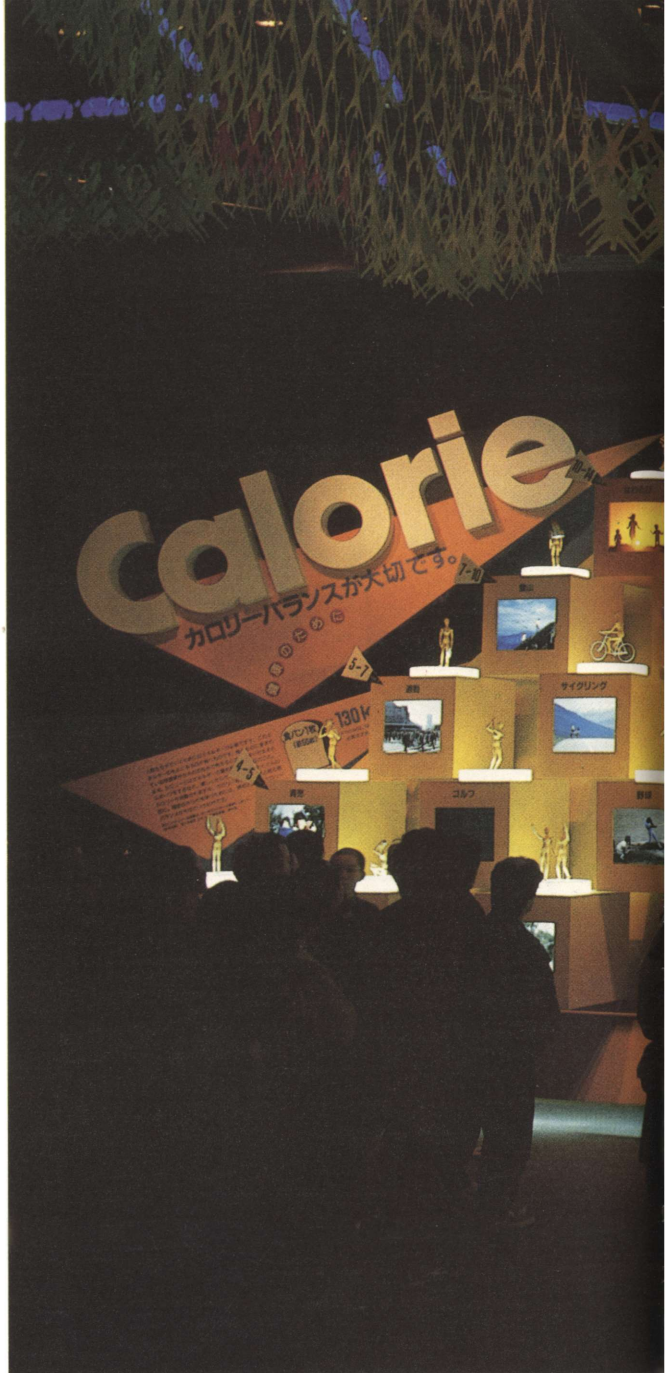
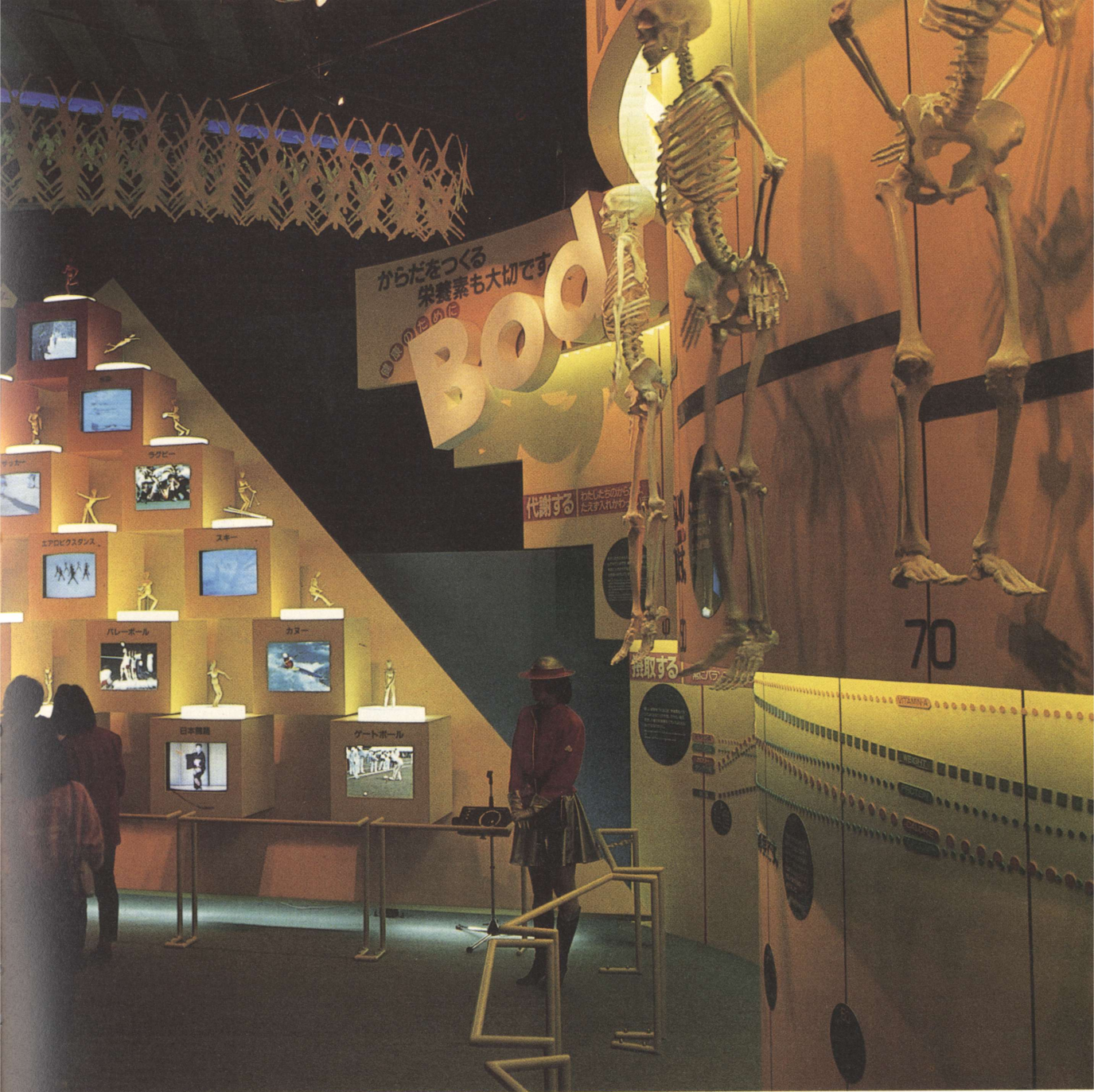
Se state pensando a un robot che vi picchietta sulla schiena con fredde dita metalliche e pronuncia la fatidica frase "dica trentatré", no, non ci siamo proprio. Nessuno immagina nemmeno lontanamente di sostituire il medico di famiglia con un computer, e nessuno ci penserà mai, si può esserne certi! Il fatto è, piuttosto, che anche per il nostro dottore il calcolatore elettronico può diventare uno strumento molto utile.

Il lavoro di un medico richiede una quantità di doti, non bastano lunghi studi: occorrono capacità di osservazione e buona memoria, e occhio nello studiare una radiografia, e abilità nel fare deduzioni identificando le rassomiglianze fra il caso attuale e quello di altri pazienti... per non parlare di altre doti piú personali, piú umane, come intuito, generosità, comprensione e via dicendo. Questo, nessuna macchina può simular-

lo, ma quando si tratta di memoria, di osservazione e di capacità di verificare sintomi e precedenti, un computer può sicuramente essere utile.

C'è un programma scritto in America, chiamato "Mumps" (un nome molto indovinato, visto che significa "orecchioni", ma in realtà il nome corrisponde a una complicata sigla!), che serve al medico per costruire una banca dati con la storia dei suoi pazienti, le loro passate malattie, sintomi e cure, risultati delle analisi mediche, insomma, tutto quello che può avere a che fare con la loro salute: una specie di grande memoria che

Dopo la guerra, ecco l'elettronica al servizio della vita. Un laser può sostituire il bisturi in molte operazioni delicatissime (la foto a fronte mostra la "testina" di un laser di questo tipo): ad esempio, in interventi sull'orecchio (sotto), dove una precisione assoluta è indispensabile.
A sinistra: il computer controlla i dati relativi a un'operazione di trapianto. È un'azione letteralmente "vitale" per qualcuno.

il medico può usare a sostegno della propria, ecco. Una memoria che può essere utilizzata anche per fare ricerche che riguardano una malattia, o un particolare sintomo, piuttosto che un singolo paziente. Poniamo che arrivi un malato che si lamenta di strani dolori di capo, di un mal di gola ostinato, con le analisi del sangue che danno certi particolari risultati: il medico sospetta, chissà, magari un caso di rosolia, anche se il paziente non è piú un bambino e se non ci sono nella zona epidemie di malattie infantili. "Mumps" può servire per controllare tutti i casi dello stesso tipo che si sono verificati in passato; sia ben chiaro, il computer non sta facendo una diagnosi! Sta solo fornendo al medico qualche informazione in piú, perché possa fare il suo lavoro piú tranquillamente.

Qualcuno, adesso, parla addirittura di un sistema esperto che discuta col medico il caso del paziente, suggerendo precedenti, indicando le analisi che forse sarebbe opportuno fare, dibattendo le possibili diagnosi... una specie di amico, chiamiamolo cosí, pronto a dare una mano nello studio del problema, ma abbastanza poco presuntuoso da non pretendere di risolverlo lui, quel problema! Ce n'è uno che si fa chiamare "Medicomp", è un autentico assistente del dottore. Si fa raccontare la storia del paziente in fatto di malattie, e chiede una descrizione dei sintomi attuali: poi prepara un elenco di tutte le malattie che assomigliano abbastanza da vicino al malanno che gli è stato descritto. A questo punto, il dottore (quello vero!) sceglie le malattie che gli sembrano piú probabili, e il computer risponde con l'elenco delle analisi da fare, magari anche col loro costo, e non dimentica di fornire alcune informazioni, diciamo cosí, storiche su alcuni casi simili che sono stati descritti da altri medici.

Ma, anche senza arrivare a tanto, già oggi ogni medico è circondato da una serie di computer, piccolissimi oppure

L'informatica è entrata nelle facoltà di medicina e anche in quei settori come la "medicina sportiva" o la "dietologia" che si occupano, piú che delle malattie, di come godere ottima salute. Il padiglione dell'Esposizione di Tsukuba fotografato qui sopra, rappresenta in modo sintetico proprio questo tipo di studio. Qual è la dieta migliore, per una data persona e per una certa attività? Di quante calorie ha bisogno? Non sta per caso "divorando" piú calorie di quante ne consumi? Nel mondo di oggi, ricordiamolo, di fronte ai milioni di uomini "malati di fame", ci sono anche troppe persone malate di "troppo cibo"!

enormi. Ci sono quelli annidati nelle macchine per fare le analisi del sangue, che contano globuli rossi e bianchi, controllano la loro "forma", analizzano completamente la goccia di sangue sul vetrino posto sotto la lente del microscopio. E ci sono (in alcuni ospedali americani) grandi computer che nella propria memoria hanno registrato, pixel per pixel, le radiografie di migliaia di pazienti: il medico può richiamarle sullo schermo del proprio terminale e studiarsele con calma, confrontarle l'una con l'altra, verificare se la gamba fratturata si è risaldata proprio bene, e se la ginnastica ha raddrizzato la schiena del ragazzino con la scoliosi.

Ci sono poi, in realtà, delle radiografie modernissime che non potrebbero essere fatte senza il computer. I vecchi

INITIAL CONDITION
* SELECT THE CONDITION OF THE BODY
# NORMAL
# ABNORMAL
*RESPIRATION
*CARDIAC MASSAGE
*COLOUR OF LIP
*DIAMETER OF PUPIL
0 SYS. 120
0 80 DIA.
*BLOOD PRESSURE
*DRUG

raggi X, si sa, costruiscono l'immagine semplicemente impressionando una lastra fotografica: anzi, fu proprio grazie ad una lastra fotografica che Roentgen li scoprí, circa un secolo fa. Il problema è che, per ottenere questo risultato, occorre utilizzare dei raggi di una "forza" piuttosto rilevante, e questi, a lungo andare (se si fanno molte radiografie, cioè) possono riuscire dannosi all'organismo umano. Recentemente, è stato inventato un nuovo sistema che utilizza raggi molto piú deboli: questi non impressionano normali pellicole fotografiche, ma specialissime lastre che poi vengono esaminate da strumenti molto complessi, basati su grandi calcolatori elettronici e su altri dispositivi avveniristici come raggi laser o cose simili. Il computer analizza i risultati della radiografia e fornisce al medico un'immagine perfettamente ricostruita, che può essere tranquillamente studiata.

Una ricostruzione ancor piú completa è quella che si fa con quel moderno strumento chiamato "TAC" (cioè "Tomografo Assiale Computerizzato": quanto a nomi difficili, non si scherza!): senza calcolatore, questo strumento non potrebbe certamente esistere. La "testa" dell'apparecchio ruota lentamente intorno al paziente, bombardandolo con raggi X relativamente deboli. Le radiazioni vengono assorbite in modo diverso dai muscoli, dagli organi interni e dalle ossa: un computer molto complesso riceve tutti i dati su questi "assorbimenti", e compie su di essi una quantità di calcoli. Sono questi calcoli che gli permettono, alla fine, di ricostruire l'immagine completa vista dallo strumento:

A sinistra: una dottoressa sta "esplorando" il cervello con una macchina per il TAC: sullo schermo, un computer speciale ricostruisce la vera immagine del cervello del paziente, in modo da individuare malattie o conseguenze di incidenti. A sinistra in alto: il computer collabora al "check-up", chiedendo una serie di informazioni sullo stato di salute del paziente.

muscoli, ossa e tutto. Insomma, quello che una normale radiografia non ci consentirebbe mai... Ecco perché si usa quella difficile parola, tomografia, che deriva dal greco e vuol dire qualcosa come "disegno di una sezione" o giú di lí: sullo schermo o sulla "fotografia", il medico vede esattamente quello che potrebbe scorgere "tagliando in due" il suo paziente; per esempio, se ha fatto la tomografia all'incirca all'altezza della vita, vedrà il fegato, la colonna vertebrale col midollo osseo e via dicendo. A parlarne, sembra piuttosto disgustoso, vero? Ma nella realtà, permette di scrutare dentro il paziente, senza fargli alcun male, cosí da riconoscere cause di malesseri che altrimenti sfuggirebbero a qualsiasi diagnosi, e da stabilire quindi al piú presto le cure migliori.

Di sistemi che, come la tomografia, permettono di vedere l'interno del corpo, ne esistono altri, basati su metodi ancor meno dannosi al fisico umano: cioè sugli ultrasuoni, oppure sulla "risonanza magnetica" (qualcosa che ha a che fare col comportamento degli atomi... e che richiederebbe troppo tempo per essere spiegata!). Fin qui, però, si è parlato dei calcolatori come aiuto per il medico: non ne esistono altri che aiutano direttamente il malato, per caso?

La risposta è sí, certo. Per cominciare, ci sono computer che "tengono d'occhio" i malati piú gravi, nelle sale di rianimazione, controllando continuamente elettrocardiogramma, elettroencefalogramma e via dicendo, in modo da lanciare immediatamente un allarme non appena la situazione si fa critica. Gli scienziati, poi, stanno occupandosi molto seriamente di quello che le macchine possono fare per chi è abbastanza sfortunato da soffrire di qualche menomazione grave – per chi ha perso la vista, per chi ha difficoltà di parola o di udito, per chi addirittura (in conseguenza di qualche gravissimo incidente) ha perso ogni capacità di muoversi. Certo, se poi

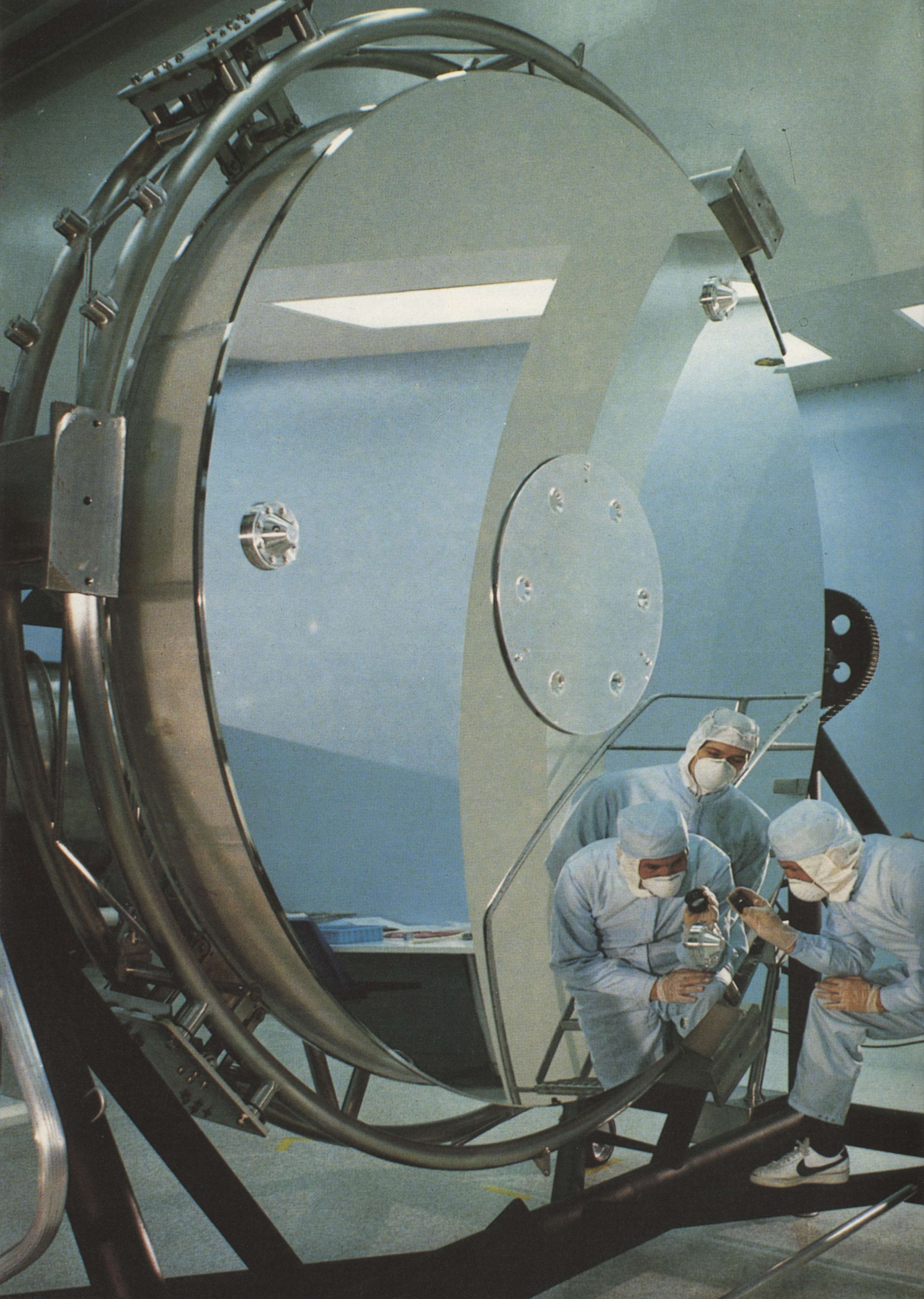
dovessimo ricorrere a qualche costosissimo supercomputer, le scoperte degli studiosi sarebbero ben poco utili: chi potrebbe permettersi di utilizzarle? Ma grazie al chip tutto è cambiato. Bambini muti stanno imparando a parlare grazie a microcircuiti sintetizzatori di voce. Persone paralizzate, a cui restano come unici movimenti il respiro e lo spostamento degli occhi, possono utilizzare queste loro capacità residue per controllare la poltrona a rotelle, le luci della stanza, magari anche gli elettrodomestici o addirittura il telefono. Stanno comparendo delle macchine lettrici per chi non vede, macchine che leggono a voce alta da una pagina stampata: d'accordo, il computer avrà una voce un po' legnosa e un tono un po' monotono, ma pensate alla barriera di solitudine che si può abbattere con queste piccole macchine intelligenti! Dopo tutto, non è proprio "un medico computer", ma un "computer amico" lo è di certo...

Alla conquista dello spazio

Nel 1957, quando la corsa allo spazio cominciò con il lancio del piccolo *Sputnik* - un modesto satellite capace solo di segnalare la propria presenza con un semplice bib-bip - i computer disponibili erano ancora quelli della prima generazione. Certo, anche in quei primi lanci il calcolatore elettronico aveva la sua parte di responsabilità: gli scienziati lo usavano per calcolare la traiettoria dei

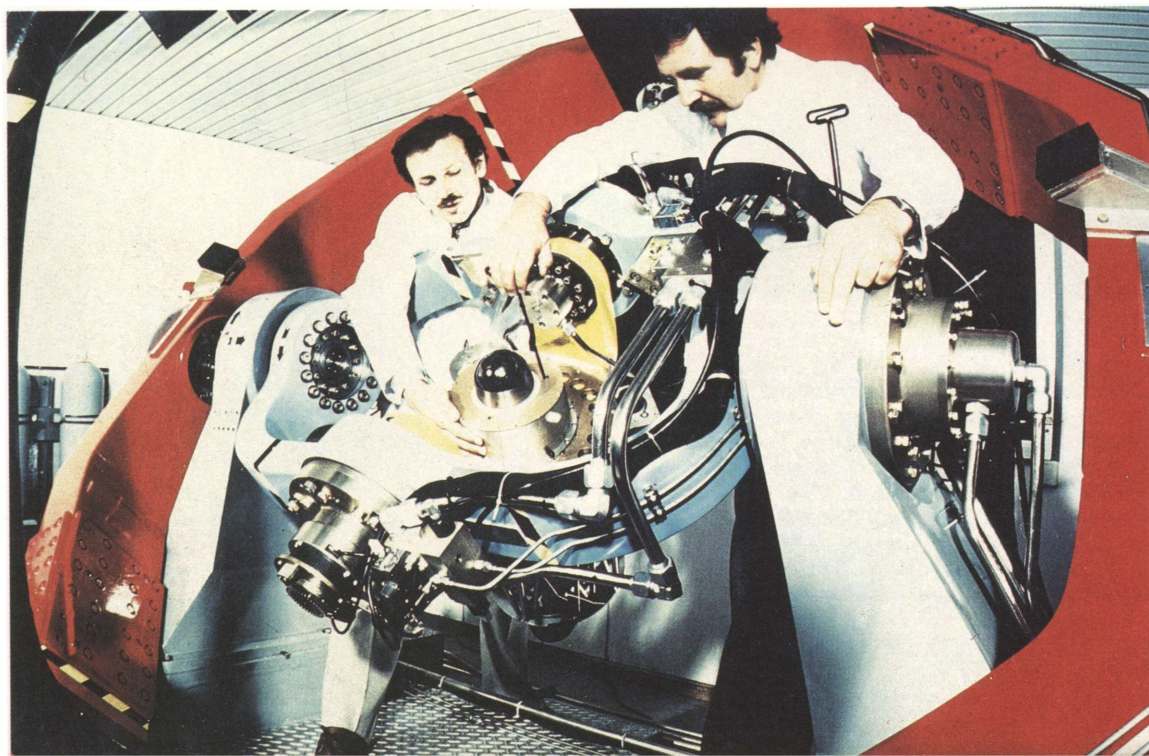
razzi e la potenza che i missili avrebbero dovuto avere per mettere in orbita i satelliti, e altre cose altrettanto importanti. Anzi, si trattava di problemi talmente gravi che gli studiosi cominciarono immediatamente a reclamare computer piú grandi, piú veloci, piú potenti... insomma, le solite pretese!

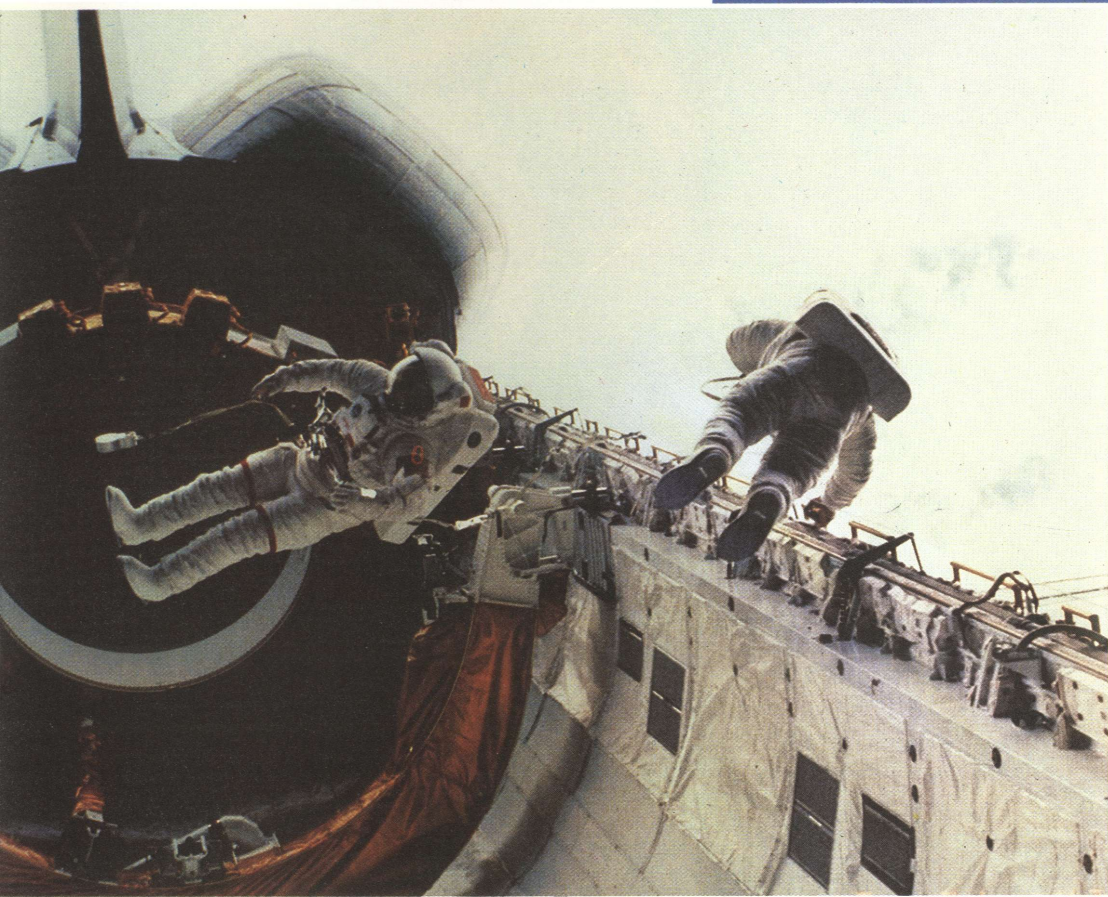
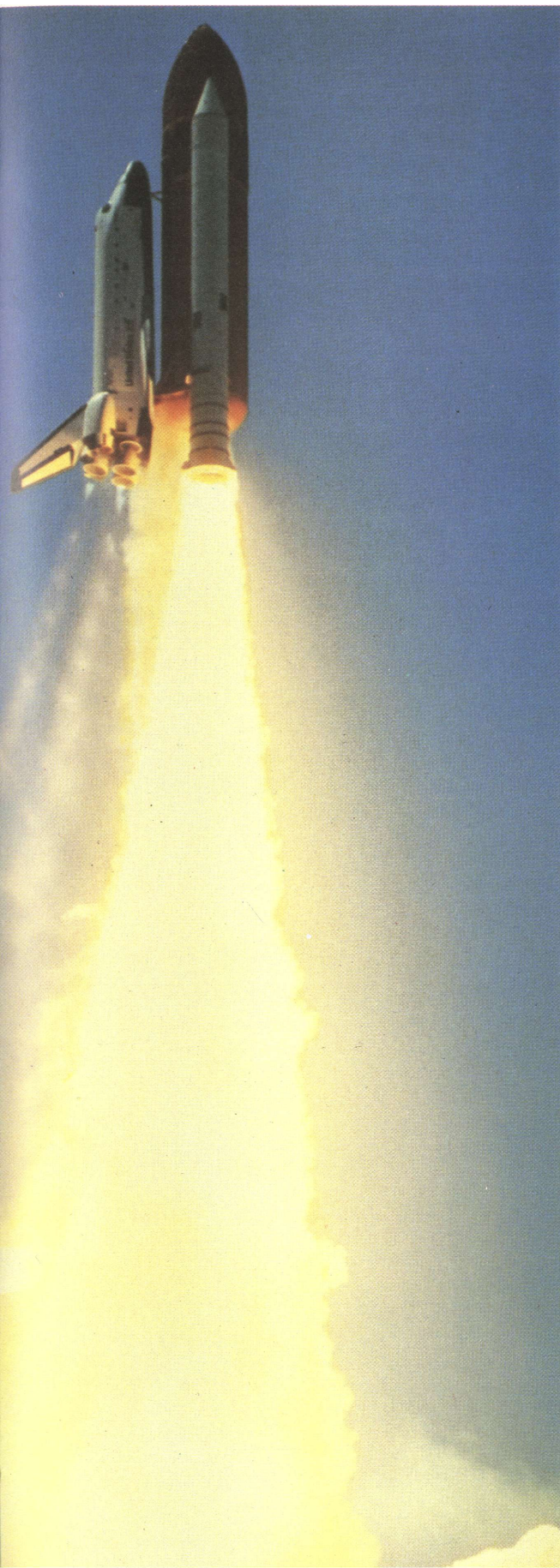
Nei trent'anni passati da allora, la conquista dello spazio e i calcolatori elettronici hanno fatto passi da gigante insieme: occorrono computer molto spe-

A fronte: un computer può "conversare" con un non vedente: anzi, un non vedente può diventare un autentico esperto di computer. Il grosso problema, certo, è leggere le scritte sullo schermo: ebbene, una macchinetta speciale (l'*Optacon*) legge e trasmette i segnali a un piccolo calcolatore apposito. Questo riconosce i caratteri letti e li traduce in un codice, che è una specie di Braille, ottenuto alzando, secondo figure opportune, gli aghi metallici su un piccolo terminale (quasi una spazzolina metallica). Il non vedente "sente" il disegno formato dagli aghi, e cosí riconosce i caratteri sullo schermo.
Sotto: le antenne paraboliche del radiotelescopio di Socorro (New Mexico, USA)... un'immagine da fantascienza per la conquista dello spazio.

ciali per l'esplorazione dell'universo, e, d'altra parte, tutte le meraviglie di cui queste macchine sono capaci ispirano agli scienziati sempre nuove missioni. Ci sono computer a bordo di ogni satellite artificiale e di ogni nave spaziale: e altri computer, piú grandi e piú complessi ancora, seguono da terra i loro voli e ricevono le infinite informazioni che essi ci trasmettono. Anzi, ci sono addirittura certi problemi nella scienza dei calcolatori che non si sarebbero nemmeno immaginati se non ci fosse stata di mezzo l'esplorazione del cosmo, e viceversa, certi usi dei satelliti artificiali non avrebbero senso se non si potessero utilizzare i computer. Proviamo a curiosare in questo mondo avventuroso...

Prima, molto prima, che una missione spaziale abbia inizio, gli specialisti la simulano su un grande calcolatore: e ripetono piú e piú volte il viaggio che l'astronave dovrà compiere, provando a simulare tutti i piú bizzarri avvenimenti che potrebbero presentarsi, fino ad avere la certezza – o, per meglio dire, la ragionevole certezza – che tutti gli imprevisti sono stati sicuramente previsti e che la missione riuscirà perfettamente. Scrivere i programmi per fare queste simulazioni è un lavoro che richiede molti studi e molte conoscenze: occorre descrivere una quantità di fenomeni estremamente complicati, a cominciare dalla gravitazione universale e dall'influenza che il Sole, la Terra, la Luna, i pianeti e cosí via avranno sulla traiettoria della nostra nave spaziale. Probabilmente, nessuno dei programmi di simulazione che esistono oggi descrive alla perfezione tutte queste azioni, ma di certo quelli in uso sono almeno abbastanza fedeli alla realtà: e il successo delle missioni spaziali, anche di quelle piú ambiziose, ne è una buona dimostrazione, no?

Mentre un gruppo di scienziati controlla come si svolgerà la futura missione della nave spaziale, altri scienziati progettano la nave vera e propria, e in

A sinistra: il colossale "Telescopio Orbitante" (o "Telescopio Spaziale") della NASA. I nostri astronomi si lamentano perché l'atmosfera e, peggio che mai, l'inquinamento impediscono di scrutare a fondo i cieli. Il Telescopio Spaziale, montato su un satellite, non avrà questi problemi, e potrà trasmetterci notizie sulle stelle piú lontane e sugli avvenimenti (le nascite di "novae", l'esistenza di buchi neri e cosí via) che ci permetteranno di conoscere meglio l'universo in cui viviamo. Sotto: un simulatore di volo per la sperimentazione di missili aria-aria.

questo progetto i computer hanno molta parte! Non solo servono per aiutare il progettista, ma possono ideare anche i computer di bordo, che hanno un'enorme importanza e sono numerosi. Se poi pensiamo a qualcosa di complicato come la "Navetta Spaziale" (lo *Space Shuttle*, cioè), i calcolatori di bordo diventeranno veramente tanti.

Devono calcolare la posizione e l'assetto dello *Shuttle*, valutare in corrispondenza se è il caso di azionare i mo-

Lo *Space Shuttle* è il trionfo del computer nello spazio: alcuni lanci sono stati ritardati proprio da uno dei computer di bordo che segnalava problemi o, addirittura, il rischio di qualche problema. Sistemi cosí sicuri garantiscono che gli astronauti possano avventurarsi nel vuoto (sopra) con la ragionevole certezza di rientrare; e che la navetta si stacchi dalla rampa di lancio (a destra) senza che ci siano piú pericoli di quelli che correte affrontando un viaggio in autostrada.

tori a razzo, e poi devono occuparsi di mettere in pratica le conclusioni raggiunte. Altri calcolatori controllano l'impianto di condizionamento dell'aria, per esempio: o l'orientamento dei pannelli, che convertono l'energia solare in energia elettrica, e cosí via per tutte le funzioni di bordo. Oh, certo, sullo *Shuttle* ci sono anche degli astronauti che possono intervenire e prendere delle decisioni, ma il problema di guidare e controllare una macchina simile è talmente complesso che nemmeno il pilota piú abile potrebbe farcela, senza l'aiuto dei calcolatori.

Naturalmente, occorre che per tutta la durata della missione questi computer continuino a funzionare perfettamente: anzi... ma no, ripensandoci, ricordate che è addirittura capitato che dei lanci spaziali fossero rinviati perché i calcolatori di bordo si dichiaravano ammalati?

Proprio con le prime grandi esplorazioni spaziali, con il lancio dei primi uomini verso la Luna, nacque fra gli esperti di calcolatori una particolare specializzazione che si chiama "tolleranza ai guasti": un nome molto complicato per definire qualcosa di altrettanto complicato. Significa che se una parte dell'impianto dei calcolatori si guasta, il resto del sistema se ne accorge e continua a funzionare lo stesso correttamente (rifiutando le informazioni che il computer guasto fornisce, dato che potrebbero facilmente essere errate): e magari, se appena è possibile, il sistema si "ripara" da solo, sostituendo la parte guasta con una che funziona bene. Una soluzione del genere è indispensabile perché, naturalmente, nello spazio non si trovano poi tanti tecnici di manutenzione!

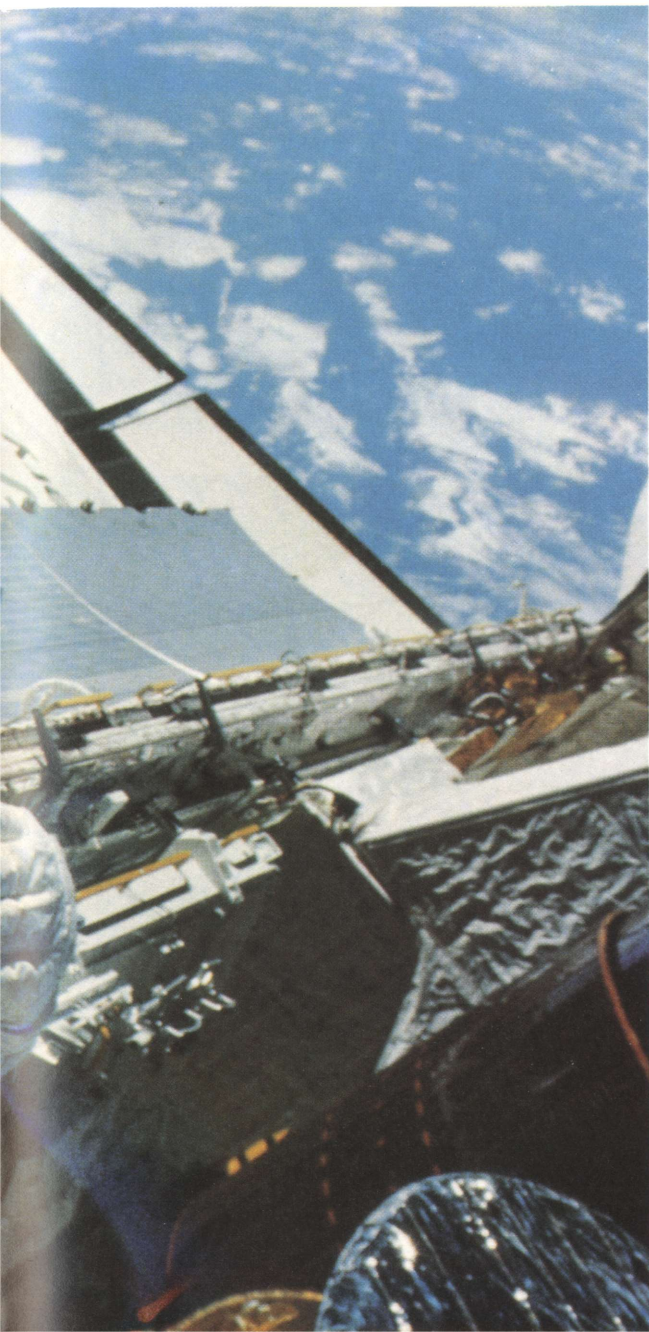
Certo, poi, a terra ci sono altri calcolatori, molto piú grandi, che conversano continuamente con quelli di bordo, controllano che tutto proceda secondo le previsioni e, se occorre, tentano di intervenire ad aggiustare i guai. Il centro della NASA, a Houston, è popolato di

macchine che fanno silenziosamente questo lavoro: e sembra (gli ambienti scientifici sono sempre pieni di pettegolezzi) che in una celebre occasione i calcolatori di terra siano riusciti a trasmettere a quelli di bordo una correzione del programma proprio all'ultimo momento, all'ultimo istante utile perché uno spettacolare viaggio interplanetario (senza uomini a bordo) non fallisse!

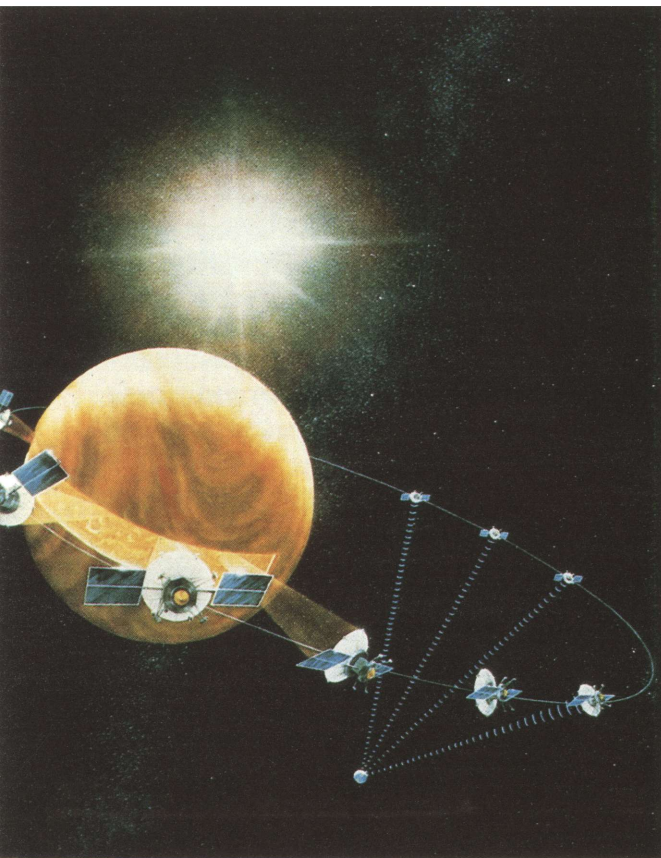
Ma poi, naturalmente, di calcolatori che hanno a che fare con le esplorazioni spaziali ce ne sono moltissimi altri: tutti quelli che sono incaricati di svolgere i compiti piú specializzati di una missione. Fare un elenco è impossibile: gli scienziati inventano ogni giorno un nuovo impiego per gli ordigni spaziali e, inevitabilmente, tutti questi impieghi coinvolgono in un modo o nell'altro i calcolatori. Proviamo a pensarci.

Per cominciare, quasi tutti questi marchingegni inviano a terra delle immagini: se sono delle immagini vere e proprie è necessario che un piccolo calcolatore speciale le "digitalizzi", le tra-

sformi in segnali numerici, prima di trasmetterle a terra, dove un altro computer ricostruirà tutti i pixel. Ma molto spesso le immagini non sono riprese da una banale telecamera: c'è di mezzo, come minimo, un'apparecchiatura a

L'astronauta Gardner, dopo aver completato la sua missione al di fuori dello *Shuttle*, può anche permettersi di scherzare (il cartello che ha in mano annuncia "in vendita", per lo spazio intorno a lui!). Senza la conquista dello spazio, molte conquiste della microelettronica sarebbero state ritardate di anni o di decenni.

raggi infrarossi (immagini di questo genere, che consentono di rilevare le differenze di temperature fra i vari punti, servono per operazioni che vanno dall'inseguire le correnti fredde e calde nell'oceano al controllare il diffondersi dell'inquinamento). Magari, a bordo, non sarà necessario fare grandi elaborazioni su queste immagini, ma, a terra, i computer della NASA o degli altri enti "proprietari" della nave spaziale avranno un bel po' di lavoro per decodificare i segnali che ricevono e per studiare il significato dell'immagine!

Poi, ci sono i sistemi radar piú o meno complessi: un radar, si sa, raccoglie gli "echi" dei raggi di microonde che invia verso i suoi obiettivi, e occorrono poi dei computer molto raffinati per ricostruire un'immagine comprensibile dalle miriadi di echi che nascono quando un satellite decide di esplorare un pezzo di Terra! Per non parlare, poi, di sistemi avveniristici che permettono di studiare addirittura il fondo del mare, o di inseguire i fiumi fossili nascosti sotto le sabbie del Sahara, o di curiosare sotto le eterne coltri di nubi di Venere.

Il computer ha una capacità particolare, quando si tratta di studiare queste immagini: può - naturalmente se glielo si ordina - cercare qualche particolare caratteristica e metterla in risalto, esaltando, ad esempio, uno specifico colore (che non è, di solito, il colore autentico di quello che stiamo studiando). Vogliamo mettere in risalto i fondali bassi, su un'immagine del fondo marino vicino alle coste? Nulla di piú facile, e nulla di piú utile per i naviganti, che non correranno piú il rischio di incagliarsi. Ci preoccupa l'effetto delle piogge acide sulle foreste alpine? Partendo dalle fotografie all'infrarosso, un calcolatore elettronico sottolineerà le aree piú critiche, dove le piogge acide stanno riducendo gli alberi a nudi scheletri... E possiamo controllare cose ancora piú importanti per la vita dell'uomo: inseguire

Parlando di guerre stellari, il problema è quello di colpire il satellite, o la navetta spaziale, del nemico. Ecco dunque l'importanza di calcolare alla perfezione l'orbita... ovviamente con l'aiuto di un computer!

i deserti che invadono le terre coltivate, controllare lo stato di salute dei grandi campi di grano o di soia o delle immense risaie orientali, fornire agli esperti le prime informazioni indispensabili per difendere i raccolti e la produttività del suolo.

Ma non è tutto qui, intendiamoci! Non vogliamo proprio parlare dei robot, nello spazio? Ce ne sono andati già diversi, impegnati prima di tutto a precedere gli esseri umani in posti inospitali come la Luna (il *Lunakod* russo era un robot molto rudimentale, dal momento che risale a tanti anni fa; eppure, riuscí a compiere un'impresa notevole, osservando il desolato deserto lunare) o misteriosi come Marte (*Mariner* non ha proprio definitivamente risolto il problema dei marziani, anche se è dell'opinione che non esistano, ma ha fatto ugualmente un lavoro d'eccezione!). Altri robot seguiranno, esploratori di ambienti che vanno da Venere ai pianeti piú lontani e minacciosi. E a bordo dello *Shuttle*, in una delle missioni recenti, c'era quello che probabilmente era il piú grande robot in funzione: un braccio meccanico, snodato, lungo ben sedici metri, che si agitava nello spazio compiendo lavori di straordinaria importanza, per esempio, recuperare satelliti guasti o satelliti che si erano persi su orbite diverse da quelle previste! Può sembrare un lavoro curioso? Ebbene, pensate che si trattava di satelliti per telecomunicazioni e per osservazioni astronomiche molto speciali, ordigni che costavano cifre incredibili, e che erano a tutti gli effetti inservibili. Se non fosse intervenuto il braccio d'acciaio, i satelliti sarebbero andati persi: cosí, gli astronauti a bordo dello *Shuttle* hanno potuto ripararli e rimetterli in funzione.

Che cosa vedono, gli scienziati, nel futuro? Vedono astronavi, satelliti, sonde spaziali guidate da supercomputer e popolate da robot che volteggiano, in assenza di gravità, occupandosi di lavori di ogni genere: dal recupero di satelliti guasti al montaggio di grandi stazioni spaziali in cui, forse, andranno a vivere degli uomini. E, da terra, altri supercomputer conversano con le macchine lontane, scambiano informazioni, mandano comandi, raccolgono dati. Uno spazio popolato di macchine intelligenti? Alcuni scienziati parlano addirittura di una stazione lunare abitata solo da robot che si riproducono, costruendo nuovi robot che li sostituiscano al momento opportuno: una soluzione preferibile, dicono, in confronto ai rischi che gli astronauti devono affrontare. Eppure, l'uomo preferisce "essere là...".

La guerra elettronica

Il missile *Minuteman* si staccò dalla sua rampa di lancio nella base di Vandenberg, nel deserto della California meridionale. Era una calda mattina del giugno 1984. Venticinque minuti piú tardi, quando i radar l'avevano avvistato e ne avevano stabilito la traiettoria, da una base sull'isola di Kwajalein, nel Pacifico – a piú di seimila chilometri di distanza – partí un secondo missile: il suo compito era di intercettare il *Minuteman* e distruggerlo prima che colpisse il suo obiettivo.

Il *Minuteman* volava al di sopra dell'atmosfera, nello spazio gelido. Quando era ancora distante piú di 1500 chilometri, il missile intercettore "sentí" il calore del *Minuteman* (che pure aveva una temperatura inferiore ai trentasette gradi) e si diresse con precisione verso quel punto che attraversava lo spazio a velocità ben superiore a quella del suono. Prima che il *Minuteman* rientrasse nell'atmosfera, il missile intercettore lo distrusse.

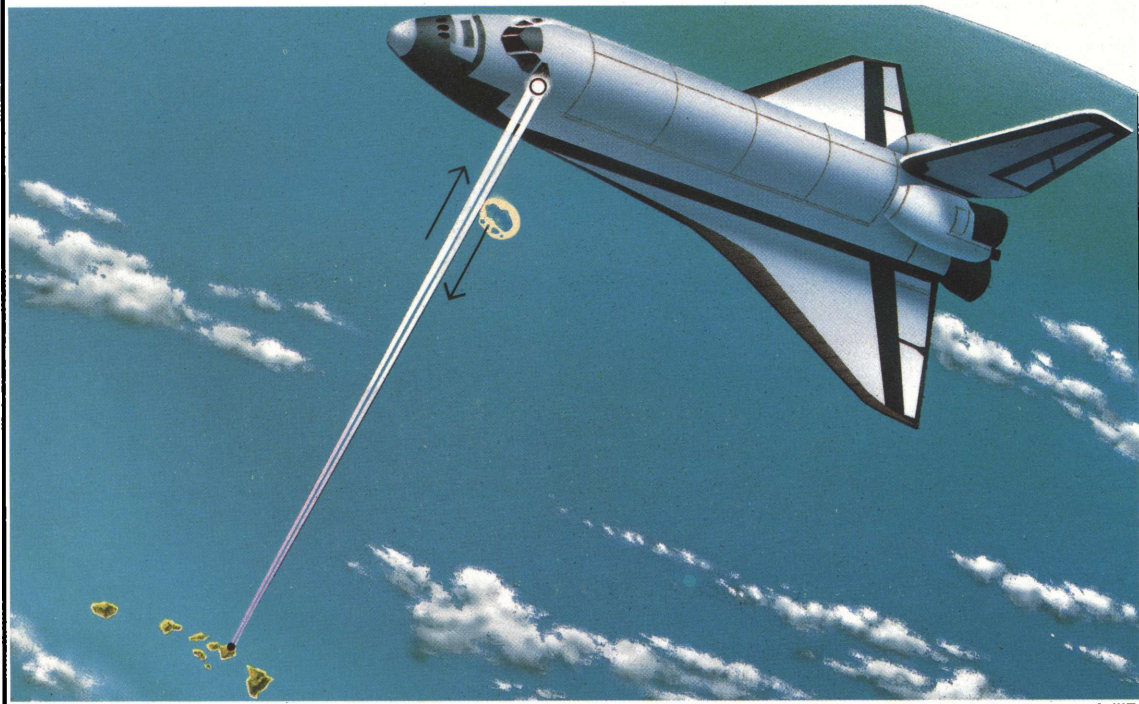
Si trattava solo di un'esercitazione, per fortuna: un esempio di quello che potrebbero essere le guerre spaziali, e che speriamo di non vedere mai. Colpire un missile nello spazio con un altro missile è difficile « come colpire una pallottola con un'altra pallottola » ha detto un alto ufficiale americano. Nemmeno nei film western, si sa, succedono cose simili! Eppure, nel cielo al di sopra del Pacifico, una pallottola è riuscita a colpire l'altra pallottola...

La pallottola assassina, il missile intercettore, era guidata da due supercomputer che a terra calcolavano a velocità incredibile la traiettoria del *Minuteman* e comandavano l'intercettore, inviando ai suoi circuiti di controllo i segnali necessari, istante per istante. Negli strumenti di guerra di oggi (e ancor piú in quelli previsti per domani) l'elettronica gioca un ruolo molto importante!

I missili piú nuovi sono dotati di un'intelligenza (limitata, per fortuna...) che consente loro di inseguire l'obiettivo anche se questo si muove deviando dalla traiettoria prevista. Sono missili che vengono addestrati da un computer, prima del lancio, a inseguire un particolare aereo, o una nave, o un carro armato: proprio come un cane da caccia riceve l'ordine di puntare una lepre o una volpe. Un piccolo computer speciale, nella testata del missile, apprende questi ordini e tiene in vista il suo obiettivo, qualunque cosa succeda.

Lo stesso tipo d'intelligenza controlla anche il puntamento di altre armi: dal cannone di un carro armato alle batterie su una nave da guerra... fino alle mitragliatrici, addirittura. Per non parlare, naturalmente, di armi avveniristiche come i laser puntati da terra contro un satellite (sotto: l'esperimento attuato dagli americani con lo *Shuttle*)!

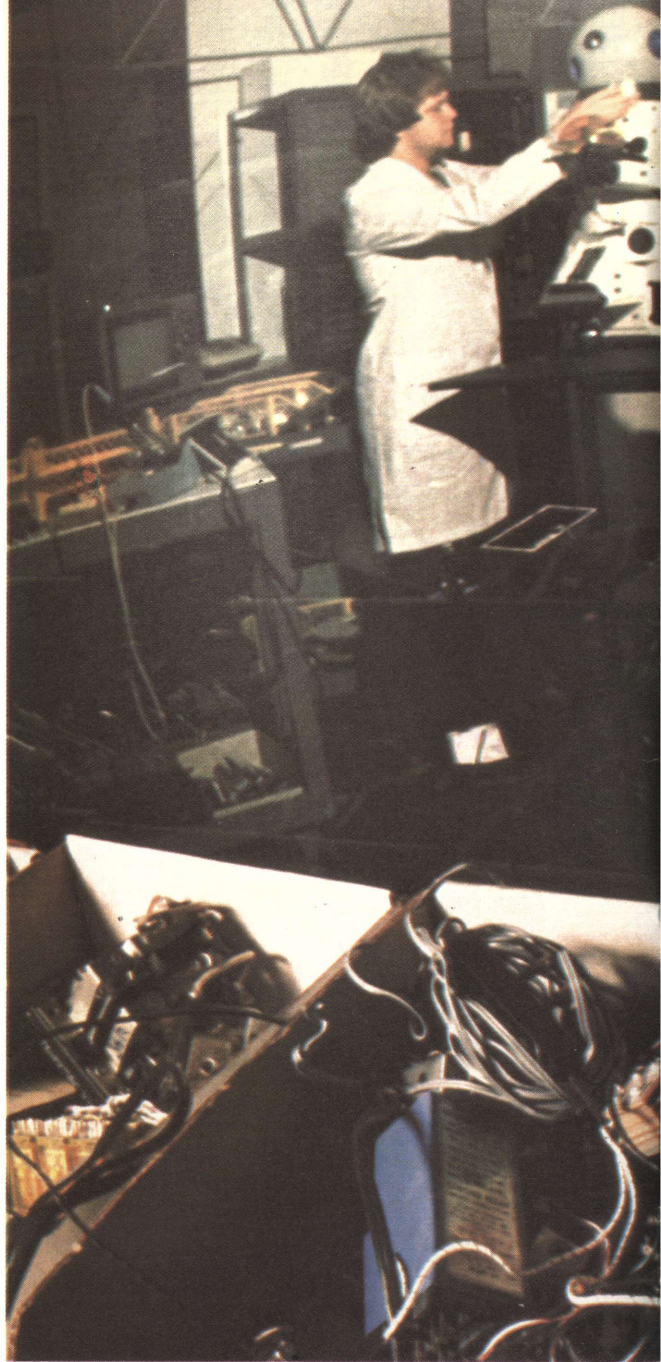
Dunque, queste armi intelligenti sono del tutto imbattibili? Be', non proprio: naturalmente, sono state studiate quelle che si chiamano "contromisure" per ingannare le guide elettroniche delle armi, e, come è inevitabile, anche le contromisure sono elettroniche! Strumenti spesso molto complessi che eludono i radar nemici, che forniscono informazioni false ai sistemi di puntamento dell'avversario, che disorientano i computer-spia...

La strada percorsa dal tempo del vecchio *E.N.I.A.C.*, i cui calcoli servivano per orientare il tiro della contraerea, è molto lunga: e l'elettronica piú raffinata, piú potente, è proprio quella utilizzata per le armi e per i cosiddetti "sistemi di difesa". Le grandi potenze si sono circondate di autentiche cinture di radar che raccolgono segnali dal cielo su tutti gli oggetti che lo percorrono: e – rintanati in caverne sicure, nelle profondità delle montagne – i calcolatori studiano le informazioni mandate dai radar e cercano continuamente le tracce di possibili nemici. Nelle sale di comando degli eserciti, gli ufficiali si addestrano con altri computer in drammatici giochi di guerra; un tempo – quando se ne occupava Giulio Cesare, o magari anche Napoleone – la strategia era una scienza a misura d'uomo, ma oggi le decisioni da prendere sono tante, e cosí complicate, e devono essere prese in cosí poco tempo, che nemmeno Napoleone ne sarebbe capace, da solo! Certo, non siamo ancora arrivati alla guerra combattuta solo fra macchine... una guerra in cui, alla fine, gli sconfitti sarebbero gli uomini.

Robot

Ha una bella pelliccia bianca e soffice: volendo, però, potete trovarne anche uno con la pelliccia grigia, oppure nera o rossiccia. Ha una bella coda folta. Si muove agilmente fra i mobili e sui tappeti, scodinzola, fa le fusa, e di tanto in tanto si mette a giocare impulsivamente. Passa da momenti di sonnolenta tranquillità ad altri di frenetica agitazione. Un gatto? Ah, no, non è un gatto... è un robot.

Non è ancora ben chiaro se la gente preferirà questi giocattoli animati a degli autentici animali domestici: è improbabile affezionarsi a un calcolatore, sia pure travestito da cucciolo, quanto a un cucciolo autentico! Ma, indubbiamente, il fatto che qualcuno abbia pensato di mettere in commercio questi piccoli automi pazzerelloni è un indizio, un segno dell'invasione pacifica (almeno per il momento...) che il mondo sta subendo. Si dice che entro il 1990 i robot in giro per il mondo – i robot autentici, seri, non quelli fatti per giocare – saranno circa 115 000. Ma, innanzitutto, che cosa è un robot?

Il nome (e forse anche l'idea) lo dobbiamo a un romanzo del 1920 o giú di lí, scritto da un autore cecoslovacco che si chiamava Karel Capek; era una storia ambientata in un bizzarro mondo futuro, dove delle macchine costruite in modo da assomigliare a degli uomini svolgevano, appunto, il lavoro degli uomini: quei meccanismi si chiamavano robot, una parola che ricordava molto da vicino la parola cecoslovacca che significa lavoro. Per molto tempo, però, i robot sono comparsi solo nei libri e nei film di fantascienza...

Dopo il nome, abbiamo una definizione ufficiale dovuta all'Associazione dei Fabbricanti di Robot: «Un robot è un manipolatore riprogrammabile multifunzionale capace di muovere pezzi, o strumenti, o apparecchi specializzati,

I tecnici stanno costruendo degli "androidi", cioè dei robot che assomigliano, magari alla lontana, a degli esseri umani. Recentemente, un androide chiamato Sico si è "prodotto" in una serie di attività: ha girato per mezza America mettendosi in coda agli aeroporti, procurandosi la carta di imbarco, spiegando agli addetti alla sicurezza dove andava e perché. Ha parlato con i passeggeri. A Detroit (il posto dove lavora) ha illustrato le meraviglie delle nuove auto. A Hollywood gli hanno offerto una parte in un film, ma ha rifiutato... La paga era troppo bassa: sarebbe bastata solo per coprire le spese di manutenzione!

per compiere tutto un insieme di attività ». Vi sembra astruso? Ebbene, vediamo di capire che cosa significa.

È un manipolatore, cioè una macchina capace di prendere, raccogliere, spostare, mettere... tutta una serie di movimenti infinitamente piú complessi di quelli che potrebbe consentire, che so, il nastro trasportatore di una vecchia catena di montaggio o anche il portautensile di una macchina utensile. Un robot di quelli che si vedono in giro per le fabbriche non è quasi mai un "androide", cioè un meccanismo simile a un uomo: molto piú spesso assomiglia a un poderoso braccio metallico che termina in una rudimentale mano a forma di pinza. Ma quel braccio riesce a muoversi nel modo piú disinvolto sulle proprie articolazioni, sulle "spalle", sul "gomito" e intorno al

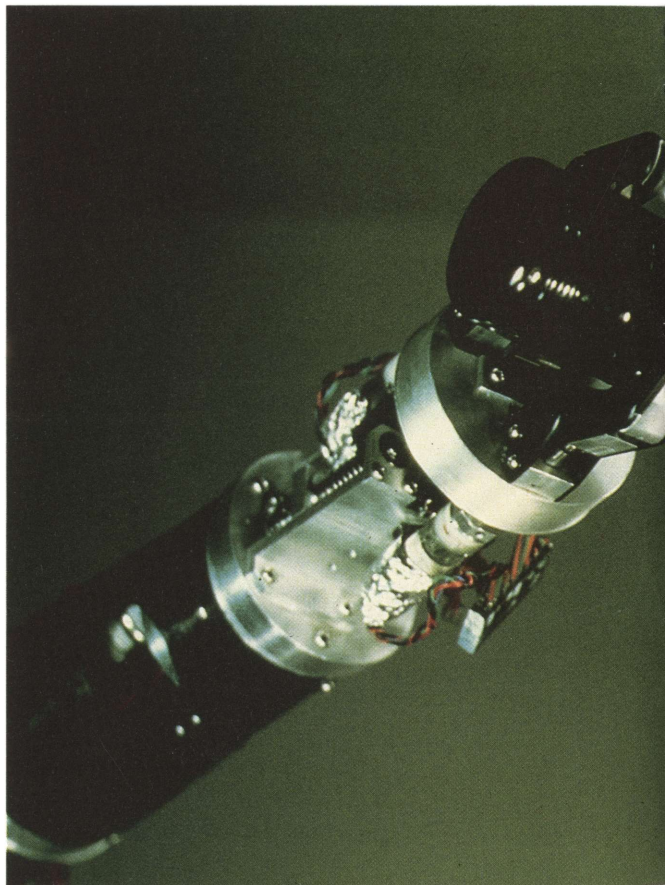
"polso" la mano ruota con un'eleganza che nemmeno le piú raffinate ballerine orientali riescono a raggiungere, quando danzano agitando il loro ventaglio!

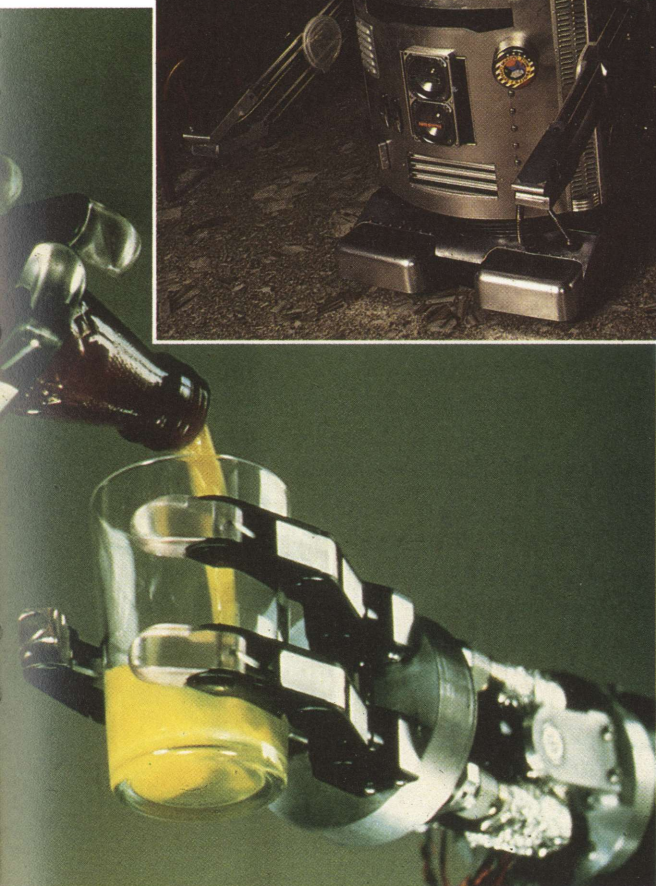
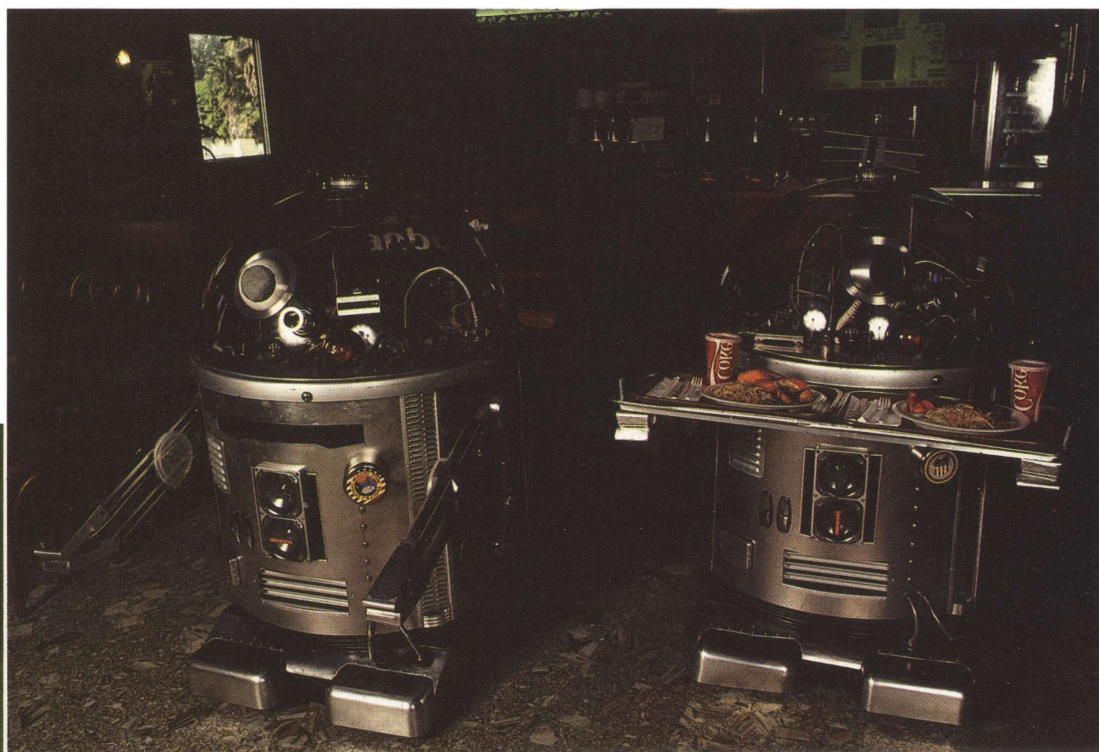
Ma c'è qualcosa di piú: il robot è riprogrammabile. Una macchina capace di eseguire un solo, unico compito, per quanto lo sappia fare benissimo, una macchina che dobbiamo buttare fra i ferri vecchi quando quel particolare lavoro è finito e non ci serve piú, non è certo un robot! Un robot è capace di essere addestrato a fare un determinato lavoro, e poi può benissimo essere, come dire, "riqualificato" per un lavoro nuovo.

Multifunzionale, poi... be', un vero robot fa qualcosa di piú che picchiare sempre il martello sullo stesso chiodo, anche se, magari, i compiti che è capace di svolgere non sono poi tanto numerosi e variati.

Tutto questo vi sembra deludente? Pensavate che i robot fossero molto piú brillanti? Be', certo, un tale che di queste macchine - cioè, di quelle da romanzo! - se ne intende, e molto, vale a dire Isaac Asimov, ha scritto in tono chiaramente disgustato che «i robot contemporanei sono semplicemente delle leve computerizzate fatte in modo da ripetere piú e piú volte lo stesso lavoro». Semplicemente? Non è poi tanto banale, andiamo!

Proviamo a guardare anche solo uno dei primi robot, di quelli che hanno cominciato a spuntare verso l'inizio degli anni Settanta. Erano robot industriali che facevano particolari lavori, soprattutto nelle industrie automobilistiche: per esempio, verniciavano carrozzerie, oppure saldavano lamiere. Ogni robot era installato in un punto ben preciso della catena di montaggio: era proprio un braccio metallico, molto snodato, che si allungava e si piegava e si rigirava per raggiungere anche gli angoli piú nascosti e piú scomodi della carrozzeria. Certo, è un lavoro che richiede precisione e instancabilità, ma non molta intelligenza; l'intelligenza è solo quella che occorre per comandare gli snodi, le articolazioni del braccio, in modo che il movimento dell'automa sia esattamente quello che vogliamo. Ci vuole un calcolatore, per creare quei segnali di comando, e sebbene un robot che nasce verniciatore resti sempre verniciatore, possia-

Ecco degli altri robot, piú modesti, che si occupano dei lavori di casa: che servono il pranzo, come quelli a destra, o che versano un bicchiere di aranciata come fa il robot qui sotto. Vi chiedete a che servono dei giocattoli del genere? Dite che, se avete sete, siete capaci di alzarvi e andare fino al frigorifero? In realtà, il robot domestico è una promessa per chi non può alzarsi e andare fino al frigorifero, per gli handicappati, le persone che hanno subito incidenti, gli anziani. Per tutti costoro, una piccola macchina amichevole che traffica per casa ronzando "sottovoce" può essere la speranza di ridiventare autosufficienti.

mo benissimo riprogrammarlo per lavorare su una *Panda* piuttosto che su una *Regata*!

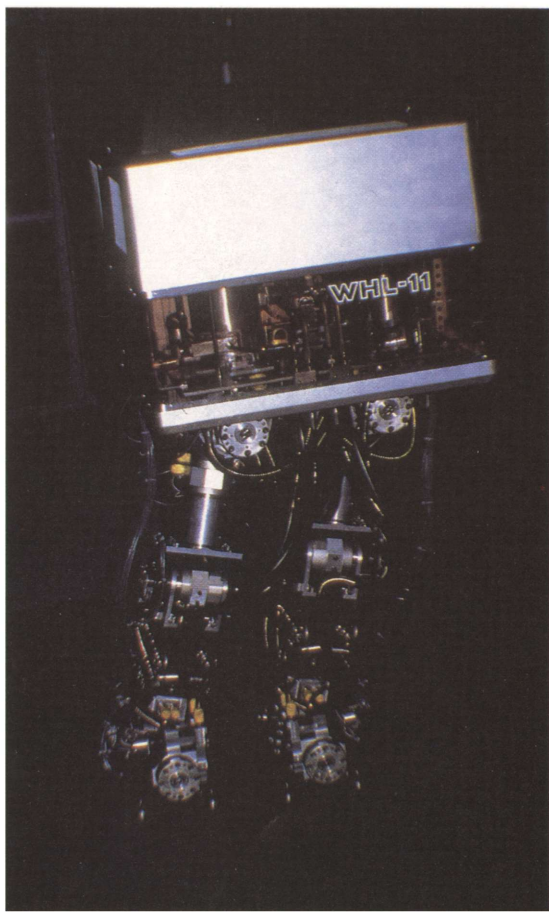
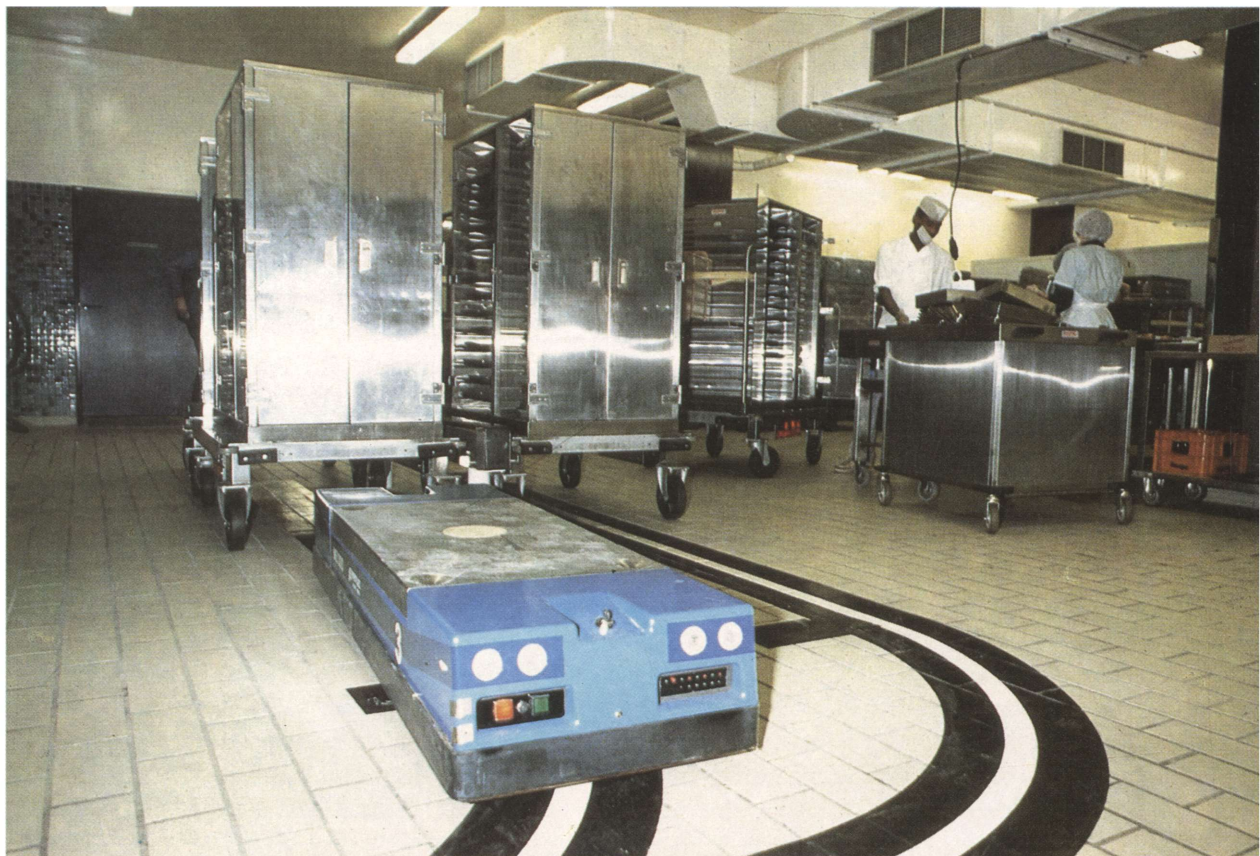
Non è un caso che i primi robot siano stati dedicati a questi due particolarissimi compiti. L'ambiente di un reparto verniciatura è saturo di gas molto nocivi all'uomo, e lungo una catena di saldatura gli incidenti possono essere notevolmente gravi. Ora, sostituire l'uomo con la macchina là dove per l'uomo può esserci pericolo è sicuramente un'ottima cosa, no? Questa è una delle tendenze generali per l'uso dei robot: introdurli in tutti quei lavori che sono abbastanza ripetitivi e ben definiti da poter essere fatti da una macchina, e che possono riuscire rischiosi per la vita umana.

Naturalmente, poi, ci sono addirittura dei compiti che per l'uomo sono impossibili. Pensiamo all'esplorazione spaziale: certo, degli uomini possono osservare e provare e sperimentare molto piú di quanto riesca mai a fare una macchina, e per di piú sono in grado di confrontare quel che vedono o che provano con le loro esperienze precedenti, con tutto quello che hanno appreso... però, attenzione! Nessuno si sognerebbe mai di lanciare degli astronauti in un'impresa da cui non ci sia la sicurezza del ritorno: non si sarebbero certo man-

dati degli uomini su Marte per poi lasciarli là. Cosa che invece si è potuto tranquillamente fare con un robot, *Mariner*, che ha mandato fotografie, rilevato temperature, raccolto campioni di terreno, fatto analisi chimiche... e ha concluso che probabilmente non c'è vita sul pianeta rosso. Be', è quasi giusto che un oggetto inanimato non riesca a essere perfettamente certo, per quanto riguarda la presenza di esseri viventi!

Come robot, nonostante tutto, *Mariner* era relativamente primitivo: in una decina d'anni, l'elettronica e la scienza dei calcolatori hanno fatto passi da giganti, e oggi molti scienziati sostengono che in futuro l'esplorazione dello spazio dovrebbe essere lasciata quasi esclusivamente ai robot...

E dallo spazio profondo al profondo del mare: un altro ambiente inospitale su cui vorremmo sapere molte cose, anzi, da cui vorremmo prendere molte cose! Oramai, tutti sanno che le profondità degli oceani nascondono grandi quantità di metalli, ma certo non possiamo inviare laggiú degli uomini, né lo potremo per molti anni ancora: e comunque, gli scafandri con cui un uomo deve essere rivestito per circolare laggiú, sia pure "solo" a due o trecento metri di profondità, non lo rendono certo molto piú autosufficiente di un robot.

Un momento, però: robot di questo genere non possono essere certo quelle semplici leve computerizzate di cui parla Asimov! Per cominciare, devono essere capaci di vedere, e, poco ma sicuro, ci sono già in commercio molti robot che – come dicono gli esperti! – sono capaci di "visione". Cosa vuol dire vedere, per una macchina?

In realtà, significa qualcosa di abbastanza specializzato, molto piú che per un essere umano: significa riconoscere gli oggetti che gli interessano – distinguerne la forma, la posizione, la dimensione – e magari scoprire che c'è qualcosa che non va. Per esempio, esistono i robot "di montaggio" – che sono fra i

A fronte: non è un invasore dallo spazio affamato di automobili, ma un amichevole robot capace di superare gli ostacoli.
A sinistra: un robot semovente, l'ultima novità nel settore; questo goffo oggetto imita l'andatura umana, forse un po' male, ma lasciategli tempo e imparerà bene!
Sopra: ecco a cosa può servire un robot semovente, anche uno semplicissimo, di quelli che lavorano in un ospedale: sono molto "stupidi", sanno percorrere solo le vie identificate dalle rotaie, ma già cosí sono straordinariamente utili per portare in fretta quello che occorre in qualunque punto!

componenti piú brillanti della grande famiglia – il cui incarico è proprio lo stesso che aveva, poniamo, l'infelice Charlot in *Tempi moderni*! Un robot montatore allunga la sua pinza per prendere un pezzo in un cestello pieno di altri pezzi, controlla che quello che ha preso non abbia difetti, lo rigira nella posizione giusta, lo infila al suo posto nel semilavorato che ha davanti, poi passa il risul-

tato di queste operazioni al lavoratore... pardon, al robot che gli sta a fianco, e ricomincia a ripetere esattamente le stesse operazioni. Ma come fa a “vedere” e “controllare” e “riconoscere”?

Ha una telecamera al posto degli occhi. E, se occorre, ha anche degli altri “sensori di posizione” che permettono di valutare le distanze con grandissima precisione, se occorre (a volte si usano dei laser, per questo). Tutti questi occhi mandano al cervello l’immagine, o, piú esattamente, l’immagine tradotta in pixel e in numeri; e, a questo punto, sappiamo già come fa il calcolatore elettronico per riconoscere quell’immagine.

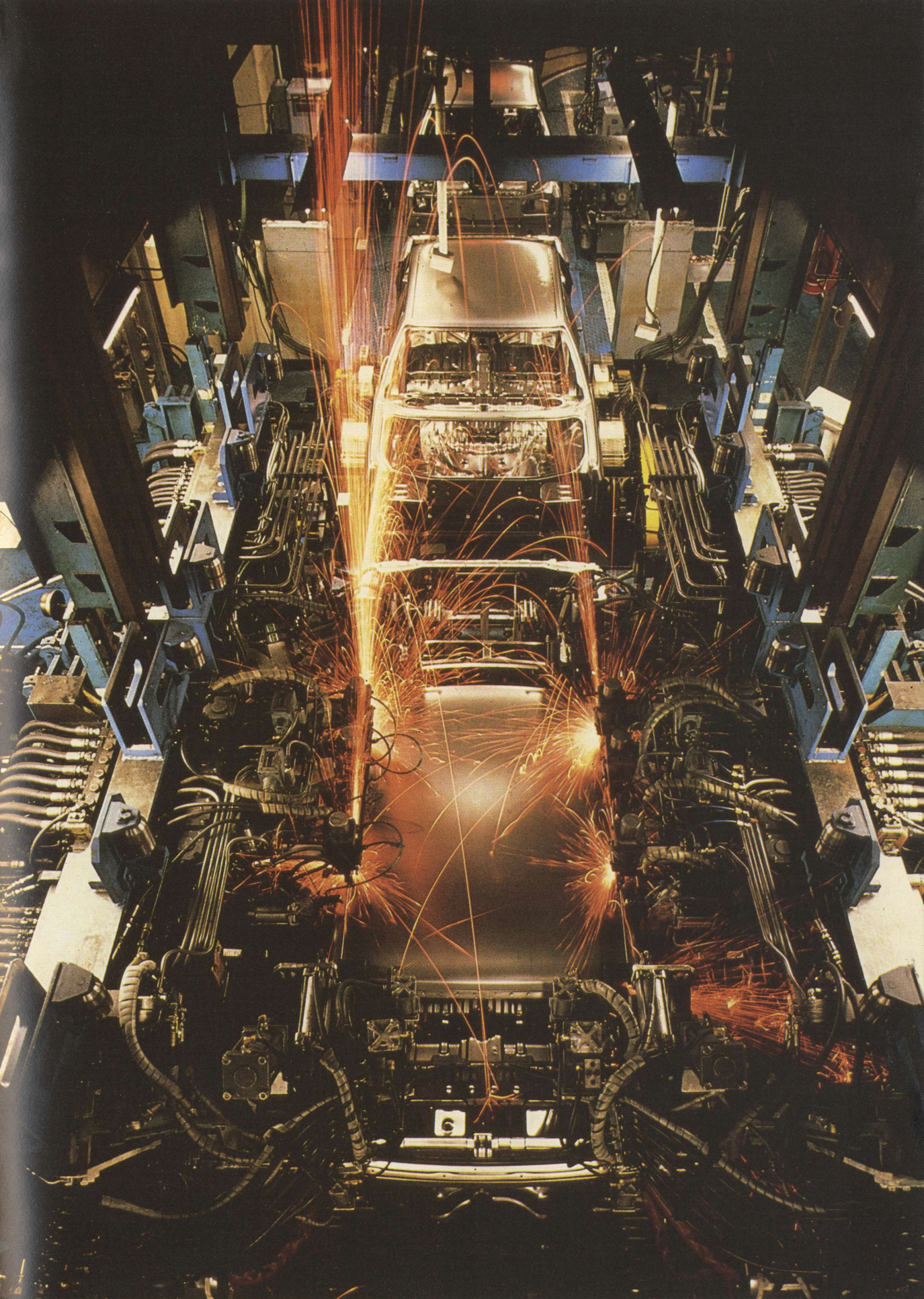
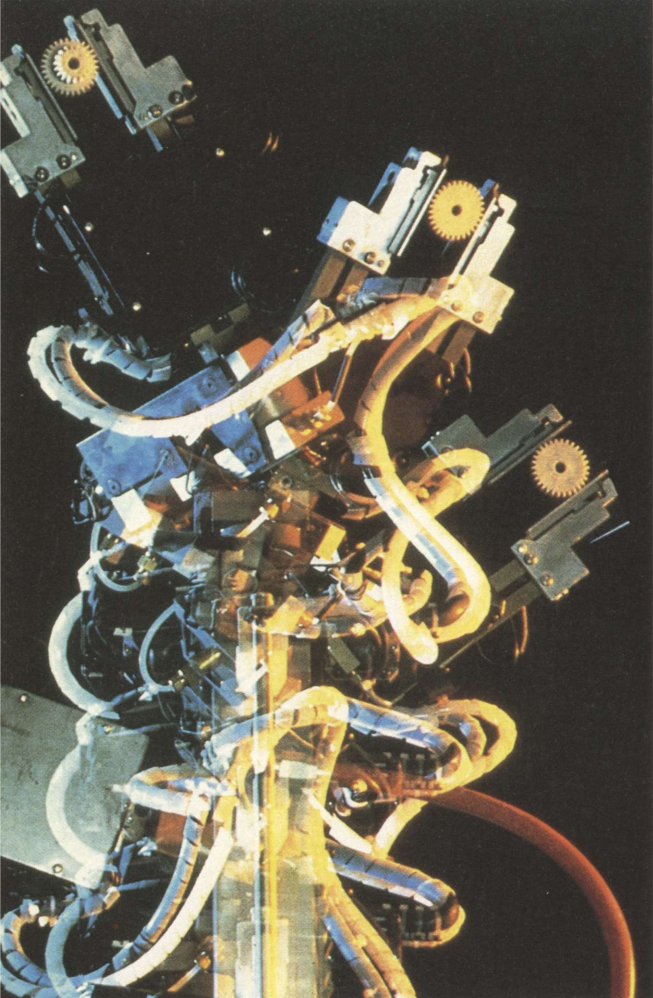
E se si tratta di districarsi in mezzo agli ostacoli di un percorso? Se il nostro robot non è un semplice braccio, ma un automa semovente? Può servire ancora la telecamera, naturalmente: ma possono anche servire dei piccoli sistemi a ultrasuoni (come l’udito di un pipistrello...) o comunque strumenti che emettono onde, siano esse sonore o microonde, e ne ricevono l’eco, ricostruendo cosí un’immagine precisa non solo dei contorni di ciò che li circonda, ma anche delle distanze: il guaio, infatti, con la telecamera, è che la sua visione è rigorosamente bidimensionale, in altre parole, è un’immagine piatta, che manca di profondità.

Certo, i sistemi a ultrasuoni o a microonde possono essere molto complessi... ma possono anche essere piccoli, semplici e poco costosi. Tanto da poter essere utilizzati per dei giocattoli! Per alcuni anni, ad esempio, ci sono state addirittura delle gare mondiali fra chi per divertimento costruisce certi piccoli robot semoventi chiamati “micro-mouse”, cioè “micro-topo”. Un micro-topo è un oggetto elettronico capace di muoversi in linea retta, di svoltare, di frenare, di fare dietro-front: un oggetto che ha un piccolo computer a bordo. Lo si mette in un labirinto – un labirinto che il topo non ha mai visitato prima – e lui si muove, esplorando il labirinto alla ricerca del suo pezzo di formaggio (ovviamente, un formaggio... sintetico!). Non è un topo stupido: ricorda alla perfezione il percorso che ha già fatto, riconosce le svolte sbagliate e i vicoli ciechi, evita di ripetere gli errori e, alla fine, impara a conoscere il labirinto abbastanza bene da acchiappare il suo formaggio a grandissima velocità!

Robot come giocattoli, dunque? Può succedere: e in realtà si tratta di giocattoli che utilizzano gli ultimi ritrovati della scienza. Per esempio, sono capaci di riconoscere alcuni semplici comandi dati dalla voce del padrone: qualcosa che anche i robot seri riescono a fare e, nel loro caso, si tratta naturalmente di comprendere gli ordini dati da un tecnico! Il robot domestico riconosce l’impronta vocale del padrone e funziona da antifurto; il robot di fabbrica...

Bene, pensateci. Un unico tecnico può controllare anche molti robot, semplicemente dando loro, a voce, dei comandi: questo permetterà di svolgere le medesime funzioni di controllo anche a chi ha degli handicap fisici, a chi ha difficoltà di movimento, o a chi è mutilato, insomma, a chi ha problemi che gli impedirebbero di manovrare interruttori e tasti convenzionali. E nessun malintenzionato potrà sgattaiolare in fabbrica e sabotarne la produzione dando subdolamente degli ordini sbagliati: i robot rifiuteranno di obbedire a chiunque non sia il loro padrone!

Quindi, oltre alla vista, il nostro robot ha anche l’udito. Che cosa manca, ancora?

Una linea di montaggio della Chrysler. Una fabbrica di automobili, oggi, pullula di robot. Ci sono robot che saldano, verniciano, montano carrozzerie: che hanno preso il posto dell’uomo, sí, ma in lavori molto pericolosi (i fumi delle vernici sono velenosi, un reparto saldature nasconde il rischio di ustioni e accecamenti). Insomma, non sono certo dei nemici, ma piuttosto degli onesti collaboratori.

Come si muove il braccio del robot? Ecco una fotografia fatta a esposizioni multiple: il braccio - fotografato a brevissimi intervalli di tempo - sta seguendo una complicata traiettoria per eseguire il lavoro per cui è stato programmato. Foto del genere sono utilissime per controllare che la programmazione sia corretta!

Manca il tatto. Se il nostro robot deve maneggiare oggetti fragili e delicati è necessario che le sue mani li prendano con molta cautela: ma deve pur sempre stringerli abbastanza da non lasciarseli sfuggire. Benissimo: è possibile fornire alla mano dei "sensori di pressione": troppa pressione, e il robot potrebbe far danno...

Robot capaci di tanta delicatezza possono essere usati in tutt'altro ambiente che in quello di un'officina, possono perfino lavorare negli orti e nei frutteti, per raccogliere la frutta senza danneggiare nemmeno una pesca matura o un grappolo d'uva.

Che cosa ci aspetta, con la prossima generazione di robot (una generazione che, come possiamo immaginare, è già alle porte...)? Innanzitutto, avremo macchine sempre piú intelligenti: macchine a cui si possono dare ordini relativamente concisi, in un linguaggio il piú possibile naturale, e che se la sbrigano poi da sole a decifrare i compiti che devono svolgere e a intraprendere le azioni relative. Macchine capaci di controllare la correttezza e la precisione del lavoro svolto, ancor piú di quanto già succeda. Macchine sempre piú mobili: c'è un esemplare giapponese - un esemplare molto avveniristico, un maratoneta da laboratorio - che è capace addirittura di salire le scale. Volete sapere qualcosa di piú su questo diabolico marchingegno?

Dunque, si muove con assoluta disinvoltura anche in giro per le stanze ingombre di mobili e altri ostacoli. Registra nella propria memoria la mappa del percorso che deve compiere, e poi lo completa. Ha un solo braccio, è vero, ma l'insieme dei movimenti che riesce a compiere è pari a quello del braccio di un uomo piú quelli che a noi consentono le articolazioni della spalla e della vita. Può tranquillamente andare a prendere qualche oggetto oppure portarlo, o girare per casa e sbrigare le faccende domestiche (dopotutto, perché non dotarlo di un aspirapolvere?). E via di questo passo... insomma, un autentico robot tuttofare!

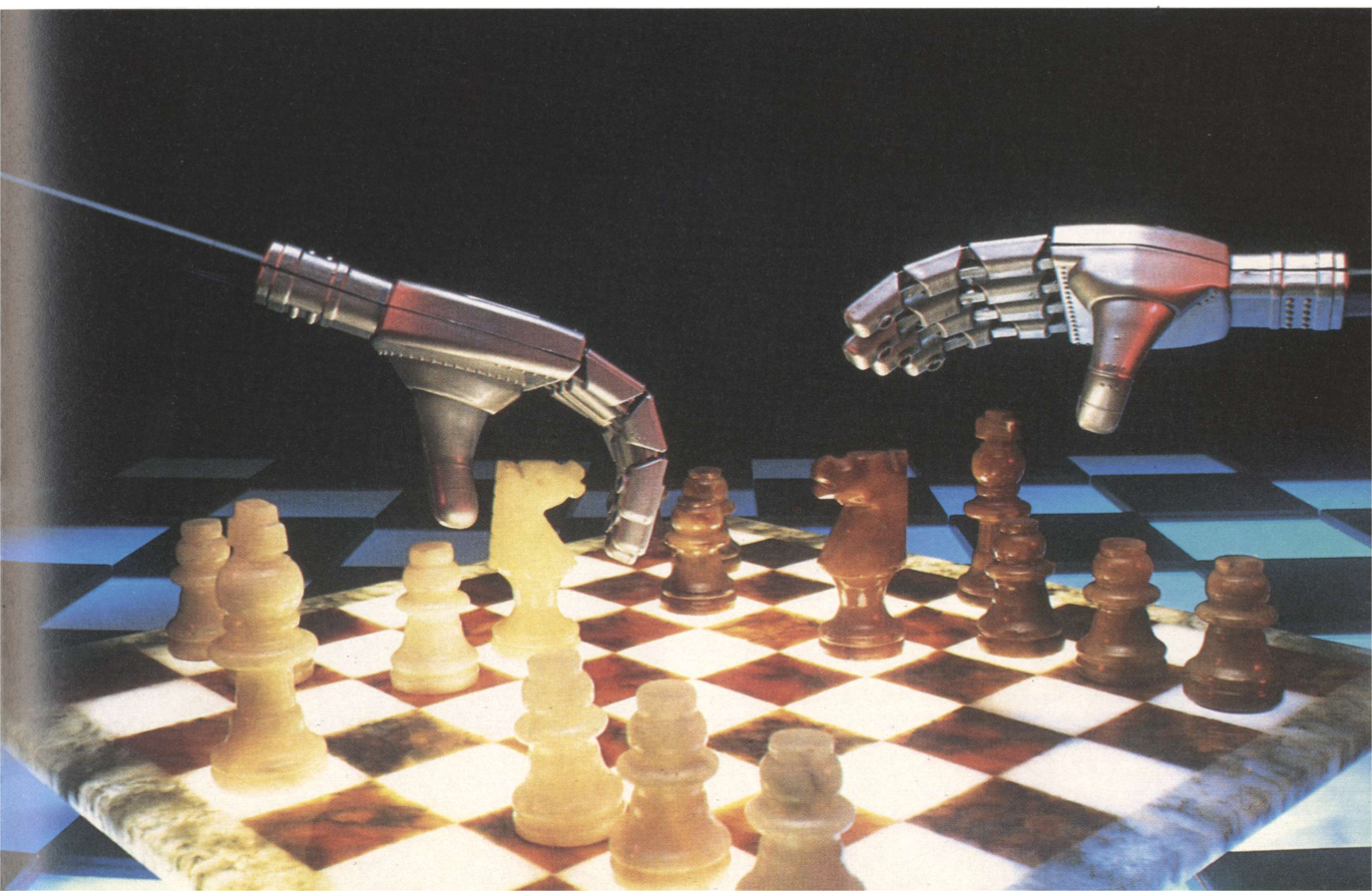
E, sempre in Giappone, c'è il primo robot... come dire, artista. Questa volta si tratta proprio di un androide, come nei film: ha due gambe con tanto di piedi, e due braccia che finiscono con autentiche mani a cinque dita. È alto un metro e ottanta e pesa novanta chili... come un giovanotto un po' robusto. È capace di vedere, sentire, parlare... ma, soprattutto, sa suonare il piano: e non grazie a un sintetizzatore di musica elet-

tronica, sia ben chiaro! Si siede sullo sgabello e muove allegramente le dita sulla tastiera, mentre i piedi lavorano sui pedali. Verrà il giorno in cui i fans si azzufferanno per assistere a un concerto di androidi?

Supercomputer!

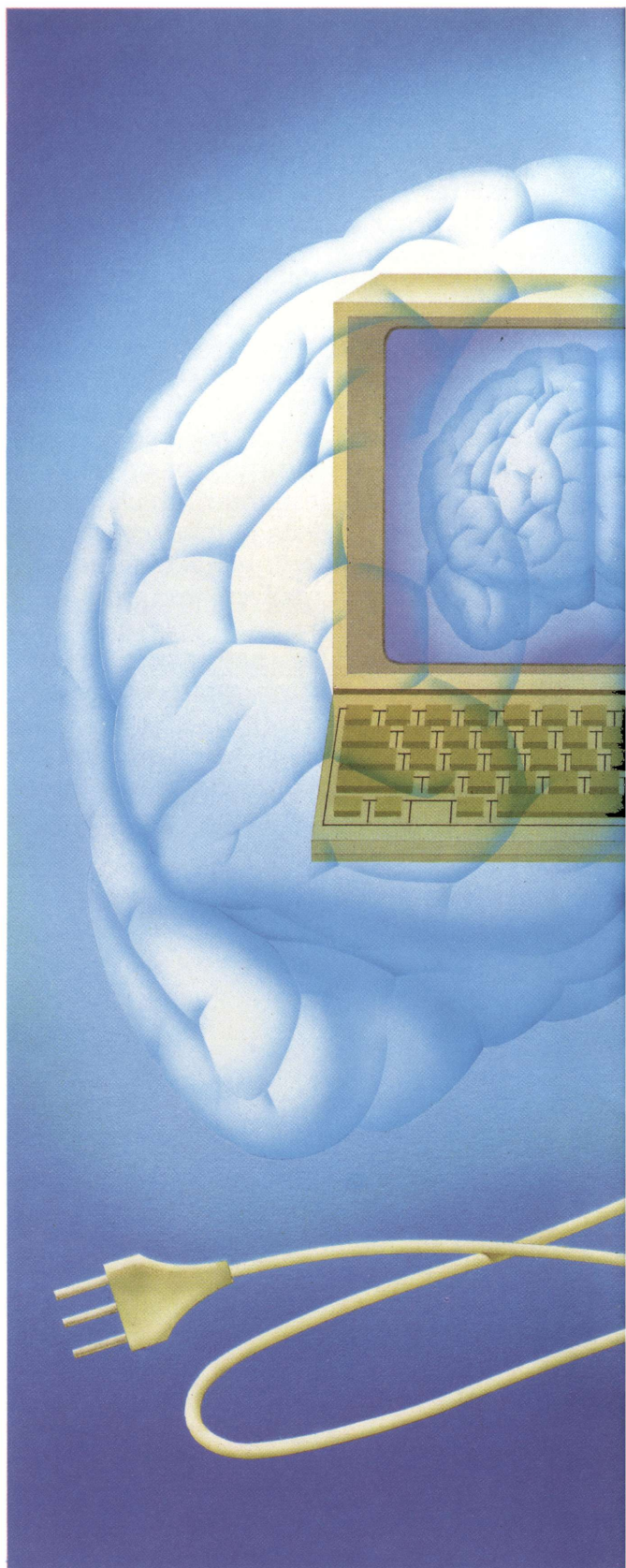
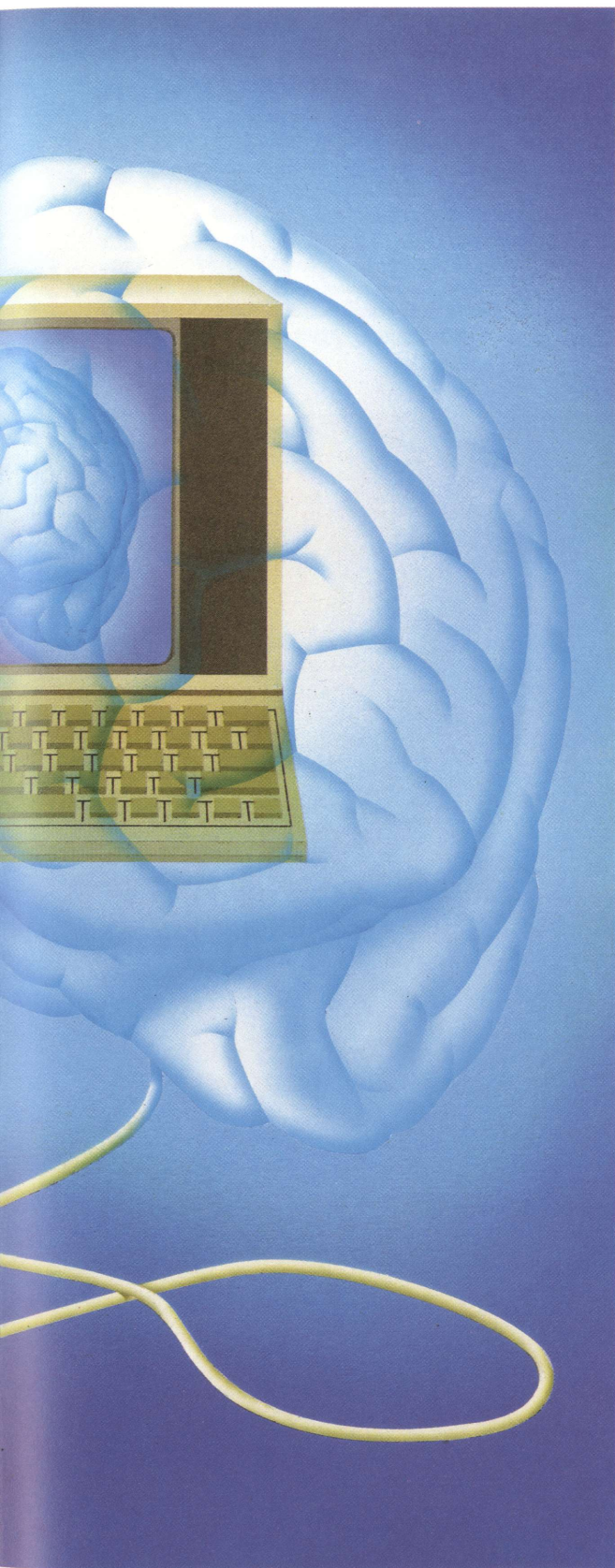
E, per finire, parliamo dei computer di domani... quelli che nascono oggi nei laboratori di ricerca, quelli che si rintanano nei centri di controllo delle missioni spaziali o addirittura in segretissime sale di comando militari, quelli che segnano l'inizio della quinta generazione. I "supercomputer": intelligenti, velocissimi, capaci di risolvere una quantità di problemi galattici.

Intelligenti? Be', naturalmente si tratta di un'intelligenza molto particolare: una intelligenza artificiale, appunto. È qualcosa che gli scienziati studiano da vent'anni o poco meno; e per molto tempo è stata considerata un gioco per studiosi un po' pazzi, un costosissimo gioco da fare col computer... gli esperti di intelligenza artificiale non volevano occuparsi di conti. Non volevano calcolare la traiettoria di un missile dalla Terra alla Luna, e nemmeno elencare i nomi di tutte le persone nate il 29 marzo o controllare alla perfezione il funzionamento dei motori di una portaerei. Volevano dimostrare dei teoremi, anzi, farli dimostrare alla macchina: proporre al computer una sfida matematica e vedere se riusciva a risolverla. Volevano risolvere dei problemi, appunto: attenzione, non si proponevano certo di infilare dei valori precisi in qualche complicata formula matematica e poi macinare numeri per ore e ore finché non veniva fuori il risultato! Quei signori volevano

Un androide ne ha sfidato un altro in una partita a scacchi... Vi sembra che la foto sia un po' emblematica? Che rispecchi un romanzo di fantascienza? In un certo senso, si tratta proprio di due computer che giocano uno contro l'altro: ma la sfida, diciamocelo in un orecchio, è fra i due scienziati che li hanno programmati!

che il computer ragionasse per arrivare alla soluzione dei problemi: esattamente come fa un uomo. Volevano che procedesse con una serie di decisioni tipo "se questo è vero, anche quest'altro è vero", oppure "dato che succede questo, e poi quest'altro e ancora quest'altro, il risultato può solo essere il seguente...".

Per anni e anni, gli studiosi di intelligenza artificiale si dedicarono a dei problemi che secondo i loro colleghi non erano molto meglio che dei giochi: trovare la maniera di disporre certi pezzi sulla scacchiera in modo che formassero un particolare disegno, costruire delle torri di anelli bianchi e neri... problemi che ricordavano le "sfide ai lettori" della pagina dei giochi sul giornale della domenica, piuttosto che la vita reale! Questi problemi-giocattolo, però, permisero di trovare il modo per raggiungere certi risultati, oppure, in certi altri casi, permisero di concludere che il calcolatore tutto solo, senza l'aiuto umano, non sarebbe riuscito a prendere una decisione definitiva. E, intanto, altri esperti dei calcolatori collaboravano con psicologi e filosofi per tentare di stabilire in che modo ragionano gli esseri umani, e provare quindi a ripetere gli stessi metodi su una macchina...

Tanti anni di studio hanno permesso di capire che cosa si può fare e che cosa è un sogno irrealizzabile: hanno suggerito di considerare solo quei problemi che richiedono una parte di conoscenze relativamente limitata, e di escludere quelli che coinvolgono troppo massicciamente

Una macchina intelligente, di una "intelligenza artificiale", che impara sempre di piú e accresce man mano la propria intelligenza... Tutto questo vi sembra preoccupante?
Molti anni fa, Turing inventò alcune "prove" per stabilire quando la macchina avrebbe potuto essere considerata intelligente: una prova era "quando l'uomo, collegato a un terminale non sarà capace di stabilire se sta conversando con un altro uomo o con una macchina...". In realtà, questa prova è già superata, eppure, siamo ancora restii a giudicare la macchina "intelligente"!

intuito, fantasia, buon senso... insomma, di escludere tutti quei problemi che un esperto umano, magari, sa risolvere, ma per cui proprio non sa dire in che modo trova la soluzione! Così, sono nati i "sistemi esperti", ed è nata addirittura una specializzazione che si chiama "ingegneria della conoscenza": ma cosa vuol dire?

Finora, parlando di calcolatori e di programmi, si è sempre detto che c'erano degli algoritmi ben precisi e che il computer doveva riuscire a trovare subito la strada da seguire per giungere al suo risultato: cose tipo "se il semaforo non è verde, può essere giallo oppure, se non è nemmeno giallo, sicuramente rosso", tanto per prendere un esempio dalla vita di ogni giorno! E, per risolvere dei grossi problemi, c'erano delle grosse basi di dati: un insieme di informazioni organizzate rigorosamente, in cui il programma scovava senza incertezze tutto quel che occorreva.

Un sistema esperto funziona in modo diverso. Per cominciare, non lavora a furia di calcoli, ma piuttosto con dei ragionamenti: e utilizza delle regole di giudizio, non delle formule matematiche, e insegue più soluzioni diverse, se gli appaiono possibili, tutte contemporaneamente, proprio come facciamo noi, magari senza accorgercene. Se occorre, fa delle domande alla persona che lo utilizza, e si serve delle risposte che riceve per continuare nel proprio lavoro. Non ha una "base dei dati", ma piuttosto una "base della conoscenza", in cui le informazioni sono organizzate insieme con le regole di ragionamento umano che permettono di collegarle e, alla fine, di tirare delle conclusioni. Comincia a lavorare su dei casi che servono per "addestrarlo", e grazie a quello che impara rende sempre più grande e completa la propria base della conoscenza...

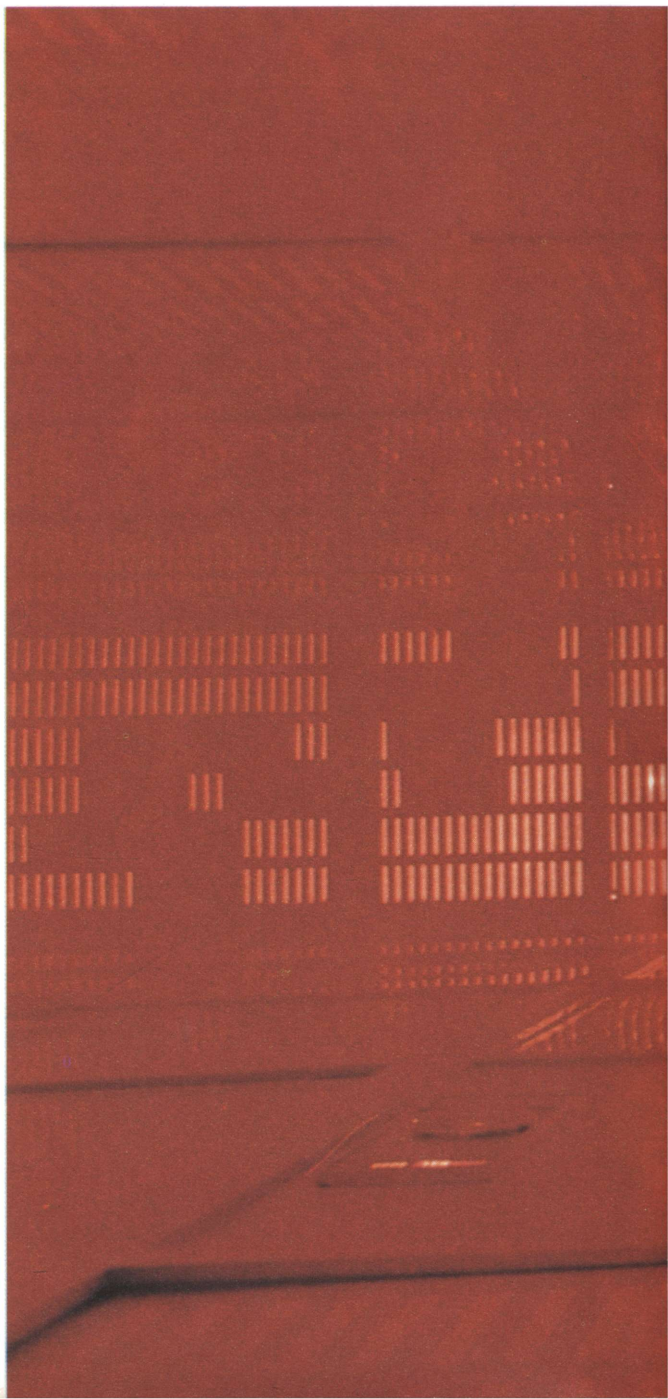
Naturalmente, per costruire un sistema esperto su un determinato tipo di problema, occorre innanzitutto... un

esperto del problema! Qualcuno che sia in grado di spiegarci come svolge il proprio lavoro, che filo logico seguono i suoi ragionamenti, quali alternative prende in considerazione per risolvere le varie questioni che si pongono: insomma, qualcuno che ci spieghi che metodo utilizza, di quali conoscenze si serve e quali sono le strategie che segue per giungere ai risultati.

A questo punto, possiamo costruire una "macchina per risolvere i problemi", e una base della conoscenza, e realizzare una specifica strategia di soluzione: ecco il sistema esperto! Sicuro, sarà esperto solo su un particolare tipo di problemi... può diventare un bravissimo meccanico, se i problemi per cui lo prepariamo sono quelli che riguardano automobili e motori. O può giocare all'esploratore, aiutandoci a cercare nuovi giacimenti di petrolio dall'esame di infinite foto fatte da un satellite e di mappe sismiche che rivelano come sono fatte le profondità del sottosuolo. Oppure può essere un discreto "giovane di studio" per un avvocato. O un assistente di laboratorio quasi perfetto, un aiuto per un medico; o infine, e meglio ancora, può essere un ottimo aiutante per qualcuno che deve programmare un altro computer, magari per un lavoro complesso e delicato come la simulazione di una missione spaziale!

Forse, i sistemi esperti sono una nuova svolta nel modo di apprendere e di trasmettere la conoscenza. Per migliaia di anni, gli uomini hanno formato le proprie conoscenze nelle pagine di un libro, hanno utilizzato i libri per trasmettere esperienze e concetti ad altri uomini, anche a quelli lontani e sconosciuti. L'invenzione della stampa, cinquecento anni fa, permise di disseminare le conoscenze fra un insieme sempre piú vasto di persone: il libro, però, non può aiutare chi lo legge a comprendere i concetti racchiusi fra le sue pagine...

Ora, il computer serve per distribuire

L'astronauta di *2010: la seconda Odissea* sta riparando l'immenso computer, "cuore" dell'astronave. I film di fantascienza hanno anticipato il futuro, ma spesso, negli ultimi tempi, il futuro ha raggiunto le previsioni. Sempre di piú, nei sistemi spaziali, si usano macchine capaci di ripararsi da sole, in grado quindi di compiere missioni lunghissime dove l'uomo non potrebbe sopravvivere. Il computer diventa cosí il "messaggero" dell'umanità per gli eventuali esseri intelligenti sperduti nella Galassia. La domanda fondamentale, per quanto riguarda il computer e l'intera tecnologia, è una domanda che tocca l'umanità: saremo in grado di usare bene questi nuovi strumenti?

conoscenze sempre piú vaste e specializzate: ma, questa volta, aiuta chi si serve di lui, collaborando sulla strada verso una soluzione!

Per molti dei problemi piú importanti, però, le macchine tradizionali - le buone, fedeli "macchine di von Neumann" - non sono sufficienti: certo, dando loro tempo, arriverebbero a capo del problema, ma... ma il guaio è che, molto spesso, non abbiamo tanto tempo! Proviamo a prendere, ad esempio, i sistemi piú colossali: come i calcolatori che ci servono per fare le previsioni meteorologiche. Oppure per studiare le caratteristiche del terreno, in modo da aiutarci a trovare il petrolio o altre risorse minerali. Oppure... oppure per inseguire gli aerei del nemico, i missili che incrociano a chilometri di altezza, magari anche i satelliti che tessono la loro rete nello spazio.

Un computer che si occupa di questi problemi deve analizzare quantità enormi di dati: immagini dettagliatissime che rappresentano regioni di centinaia di chilometri quadrati, masse di informazioni sulla temperatura e la profondità delle nubi, centinaia o migliaia di rilevamenti compiuti da infiniti radar che esplorano il cielo e lo spazio intero... e, naturalmente, non abbiamo anni, mesi, nemmeno giorni di tempo per studiare tutte queste informazioni, per riconoscere le immagini trasmesse, per comprendere che cosa queste immagini significano! Se il lavoro del computer ci serve per predire il tempo che farà, ci sono solo poche ore di tempo per compierlo: altrimenti, l'uragano si sarà abbattuto prima che noi ci siamo accorti della sua presenza... e se poi il computer è al servizio dei militari, e deve distinguere un missile nemico in mezzo all'infinità di oggetti piú o meno misteriosi che vagano per lo spazio, allora ci sono solo minuti di tempo! La macchina deve compiere miliardi di operazioni in un secondo: un calcolatore all'antica non ce la farebbe mai!

Il fatto è che il calcolatore all'antica è una macchina capace di fare una sola cosa per volta, una dopo l'altra, anche quando in realtà deve poi ripetere sempre le stesse operazioni su tanti dati diversi... ma non è certo cosí che funziona il nostro cervello!

Se stiamo guardando una fotografia, per esempio, noi la guardiamo tutta in una volta: il nostro cervello contiene un numero quasi infinito di neuroni che lavorano contemporaneamente, e, ovviamente, tanti calcolatori che funzionano tutti d'accordo raggiungono il risultato molto piú in fretta di uno solo che ripete passo passo le sue operazioni centomila volte!

Cosí sono nati i nuovissimi computer. Macchine in cui decine e decine, o anche centinaia o addirittura migliaia di "unità di elaborazione", calcolatori molto specializzati, lavorano tutti d'accordo e contemporaneamente, ripetendo le loro operazioni su masse di dati. Proprio come fanno i neuroni del nostro cervello: cosí si ottengono quelle incredibili velocità di calcolo di cui si parlava prima...

Questi sono i supercomputer che stanno nascendo oggi; quelli della nuovissima generazione. Macchine talmente potenti, complesse e costose che ne esistono pochissimi esemplari.

Almeno, fino ad oggi! Naturalmente, c'è già chi si sta occupando di farli diventare incredibilmente piccoli. E prima o poi, c'è da scommetterlo, finiranno... nel vostro personal computer, magari?

L'operatore sta seguendo con il suo calcolatore dei fenomeni sismici su una particolare regione della Terra: oggi, si tratta in genere di fenomeni "provocati" con una piccola esplosione - e lo scopo è quello di individuare i giacimenti di petrolio - ma si spera che domani sarà possibile prevedere i terremoti, e quindi salvare migliaia di vite umane. Le informazioni necessarie saranno raccolte da satelliti artificiali che trasmettono continuamente immagini e altre informazioni sulla superficie terrestre. Allora, parleremo veramente di "Amico Computer"...

Il supercomputer e il tempo che farà

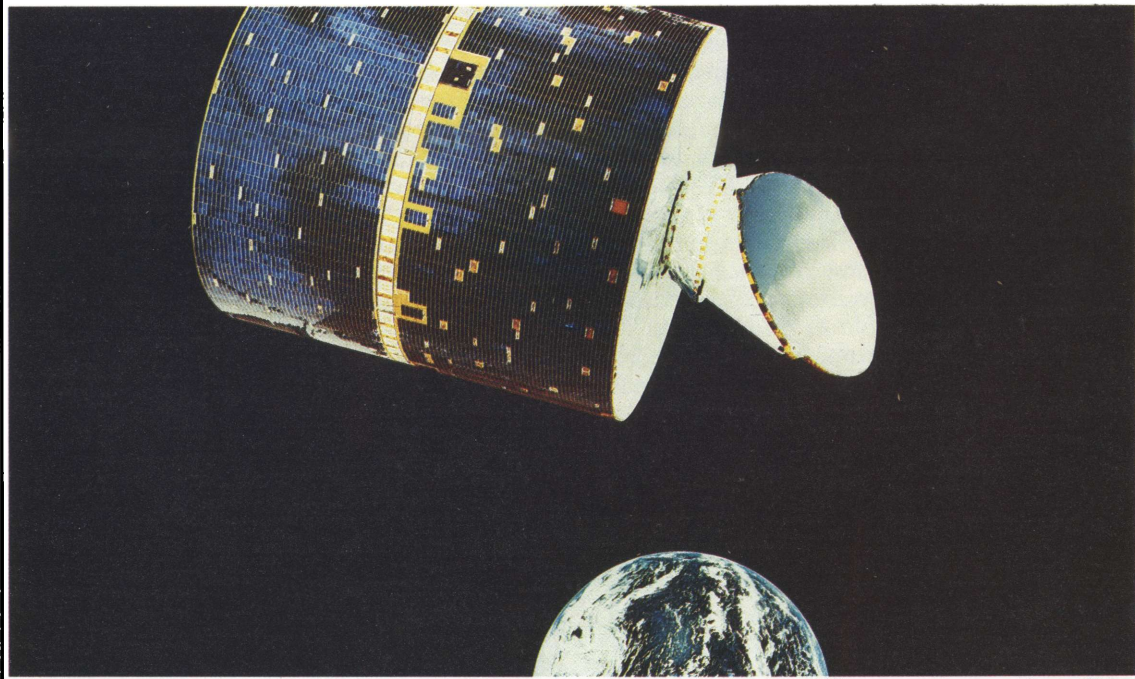
Ci sono, in alcuni punti della Terra, dei supercomputer particolarmente veloci e potenti impegnati con un problema che fino a poco tempo fa pareva riservato agli stregoni o alle persone afflitte dai reumatismi: sono i calcolatori che predicono il tempo.

Ci sono migliaia di stazioni in cui si raccolgono informazioni come la pressione atmosferica, l'umidità, la temperatura e cosí via; dati che vengono inviati ai famosi supercomputer. Altre informazioni arrivano dai satelliti (foto sotto); fotografie dei ghiacci polari e delle formazioni di nuvole, e immagini ai raggi infrarossi per poter calcolare la temperatura delle nuvole e della superficie marina. I satelliti "geostazionari" (che si mantengono in un punto fisso rispetto alla superficie terrestre) inviano ognuno un'immagine ogni trenta minuti: cosí, si riesce a calcolare anche la velocità e la direzione dei venti, anzi, si può quasi costruire un "cartone animato" in cui si vede il movimento delle nuvole!

Il computer esamina tutta questa enorme quantità di dati: e deve farlo molto rapidamente, è chiaro! Dite che, per il momento, parrebbe che riesca solo a stabilire che tempo fa proprio ora? Ma nella sua memoria è registrato un complicatissimo modello matematico creato dagli scienziati per rappresentare che cosa ci si può aspettare dal tempo – come sarà fra dodici ore, o fra ventiquattro o trentasei – a seconda di quel che succede in questo momento: e usando questo modello e tutte le informazioni inviate dai satelliti (e anche i rilievi fatti a terra) la nostra macchina riesce a fare delle previsioni del tempo abbastanza precise. Certo, può ancora capitare che all'improvviso una tempesta faccia i capricci e prenda una strada diversa da quella calcolata: ma guai del genere diventano sempre piú rari. E le previsioni del tempo non sono importanti solo per sapere se domenica potremo andare al mare oppure a sciare: una diagnosi accurata dei cicloni che stavano per abbattersi sugli stati meridionali degli Stati Uniti o sugli arcipelaghi del Pacifico ha sicuramente permesso di salvare centinaia o anche migliaia di vite umane, e la predizione di piú modeste, ma sempre pericolose, tempeste sui mari e sugli oceani è una guida preziosa per pescatori o per appassionati di vela.

Finora, si è parlato di previsioni a breve termine: il tempo che farà domani, insomma. Ma noi vorremmo anche sapere se la prossima settimana ci sarà il sole, oppure se avremo un inverno con tanta neve o un'estate piovosa: informazioni del genere possono anche essere utilizzate per sapere se i raccolti saranno scarsi o abbondanti, se sarà necessario predisporre spazzaneve e altre macchine per il mese di gennaio, se i bacini che riforniscono le centrali idroelettriche rischiano di andare in secca, e altre cose altrettanto importanti. Per questo, occorrerebbe che il computer sapesse "come si comporta" il clima terrestre: occorrerebbe nientemeno un modello matematico del clima, che permettesse di calcolare il tempo che farà da qui a sei mesi.

Bene, gli scienziati ci stanno provando... hanno costruito alcuni modelli del clima e li hanno dati in pasto a un supercomputer. Il fatto è che in questo caso occorre occuparsi di una quantità di informazioni ancor piú grande di quella che ci serve per predire il tempo di domani: per esempio, bisogna anche dire come le foglie delle foreste e la vegetazione dei campi influenzano l'umidità dell'atmosfera!

I modelli sviluppati finora non hanno raggiunto una precisione molto soddisfacente, è vero: basta una grande eruzione vulcanica perché i dati raccolti vengano completamente sconvolti e le previsioni per il prossimo febbraio perdano validità... quei modelli, però, hanno ugualmente una grandissima importanza. Ci permettono di sapere, ad esempio, quali modifiche subirebbe il clima dell'intera Terra se si abbattessero centinaia di chilometri quadrati di foreste vergini, e non è poi un avvenimento cosí improbabile (sta succedendo, nella giungla dell'Amazzonia). Il lavoro dei supercomputer può indicarci la via migliore per utilizzare le risorse che la Terra ci mette a disposizione, e può metterci in guardia contro gli sprechi e le azioni insensate, e gli interventi fatti senza valutare le conseguenze che potrebbero recar danno a generazioni e generazioni...

Glossario

Accesso, tempo di Il tempo che si impiega per estrarre un'informazione immagazzinata in un dispositivo di memoria - come un disco o un nastro - e portarla nella memoria di lavoro di un computer.

Accumulatore Una parte dell'unità centrale di elaborazione dove vengono temporaneamente accumulati i risultati ottenuti durante i calcoli. Dell'accumulatore ci si serve per eseguire operazioni aritmetiche come somme, sottrazioni e confronti.

Alto livello, linguaggi ad Linguaggi di programmazione per computer che usano istruzioni relativamente complesse (di solito corrispondono a interi gruppi di ordini alla CPU) e definite in base a un concetto umano di operazione, piuttosto che in base a quel che sa fare la CPU! Solitamente, nelle istruzioni di un linguaggio ad alto livello, troviamo simboli matematici, nomi simbolici creati dal programmatore stesso e parole inglesi che identificano le operazioni.

ALU Cioè *Arithmetic and Logic Unit*, o se preferite "unità aritmetico-logica". Insomma, la parte del computer che fa i conti (a cominciare dalla banale addizione) e le operazioni dell'algebra di Boole. I raffinati vi diranno che non è "intelligente" (che cos'è un calcolo, dopo tutto?) ma in cambio è essenziale... e si cerca di renderla sempre piú veloce. Fa parte della CPU (v).

ASCII Sigla ricavata dalle iniziali delle parole inglesi *American Standard Code for Information Interchange*, che significa "codice standard americano per lo scambio di informazioni". È un codice standard che comprende complessivamente 128 caratteri (lettere maiuscole e minuscole, numeri da 0 a 9 e caratteri speciali come i segni di punteggiatura, matematici ecc.) espressi come configurazioni di 8 bit, cioè come 1 byte.

Barre, codice a Detto anche, all'inglese, *bar code*. Configurazione di linee parallele bianche e nere di vario spessore che possono essere "lette" con una speciale penna laser. I codici a barre vengono spesso stampati su oggetti quali le confezioni di cibo, le scatolette o i libri, al fine di identificare il prodotto contenuto per il controllo e il magazzinaggio automatico.

Bit Non è esattamente una parola inglese, e comunque oramai è diventata internazionale. È l'abbreviazione di *Binary Digit*, che vuol dire "cifra binaria": è la cifra dell'aritmetica in base 2, che può valere 0 o 1; è anche il risultato della piú semplice delle scelte, quella che può essere solo "vera" o "falsa", senza altre vie d'uscita. È la piú piccola informazione, l'"unità" di informazione, all'interno dei computer. Tutto quanto, in queste macchine, si misura in bit di memoria, oppure "bit al secondo" di velocità (di trasmissione) e cosí via...

Buffer Una parte di memoria di limitate dimensioni destinata ad accogliere temporaneamente dei dati, prodotti da una parte del computer, e a mantenerli finché un'altra parte non è pronta a riceverli.

Byte Anche questa, come parola, non esisteva prima dei computer... no, non è proprio vero. *Byte* in inglese vuol dire "morso": non c'entra nulla, con il significato che ha quando si parla di calcolatori elettronici. Un byte è un gruppo, una "parola" formata di otto bit che è anche diventata un'unità di misura: per esempio, possiamo raccontare che un dischetto è capace di registrare "500 kilobyte" (cioè 500 000 byte). Dato che nei codici piú diffusi per rappresentare i caratteri di una tastiera (i caratteri dell'alfabeto, maiuscoli e minuscoli, le cifre decimali, i segni di interpunzione) occorre esattamente un byte, molto spesso la stessa unità di misura viene chiamata "carattere".

Chip Letteralmente, sarebbe un "frammento". Una "scheggia". Se state parlando di elettronica o, peggio che mai, di computer, è il circuito integrato, il microprocessore, insomma, quell'intelligente francobollo di silicio che ha trasformato il computer in un elettrodomestico, o quasi.

Compilatore Un programma capace di tradurre un linguaggio ad alto livello, come il BASIC, in codice macchina, quello che fa funzio-

nare la CPU. Un compilatore traduce un intero programma in codice macchina prima che il computer lo esegua.

CPU Abbreviazione di *Central Processing Unit*: la traduzione letterale sarebbe "Unità Centrale di Elaborazione". È la parte intelligente del computer: qui le istruzioni vengono richiamate dalla memoria, lette, eseguite (comprende anche la parte che fa i calcoli veri e propri), da qui si inviano i comandi alle memorie, alle unità periferiche e via dicendo.

CRT Non preoccupatevi, non si tratta di una malattia strana. È un normalissimo schermo video, e l'abbreviazione sta per *Cathode Ray Tube*, cioè "tubo a raggi catodici", che è la definizione tecnica.

Dati, base di Una grande quantità di dati immagazzinata in un computer (o magari in una rete di computer) in modo ordinato, come si farebbe in un archivio: può trattarsi anche dell'archivio anagrafico di una città. Le informazioni sono organizzate con un insieme di indici o di riferimenti, al fine di poterle modificare, aggiornare o semplicemente consultare con estrema facilità.

Dato L'informazione elaborata dai computer. I dati possono essere "numerici", ma possono anche rappresentare lettere, colori, immagini... basta avere un codice opportuno.

Digital No, per carità, le dita non c'entrano! C'è di mezzo anche il latino. In parole povere, vuol dire "numerico". Qualcosa che ha a che fare con i numeri, come un orologio digitale (dove si leggono i numeri veri, non una posizione delle lancette), come... come un calcolatore digitale, ecco.

Disco Un dispositivo di memoria che consente a un computer di memorizzare ed estrarre dei dati velocemente e in grandi quantità. Sono dischi di plastica o di metallo ricoperti da una superficie magnetica su cui si registrano le informazioni sotto forma di zone magnetizzate.

Drive Stando alle traduzioni letterali, vuol dire "trascinare" o "far muovere" o cose simili. Nel nostro mondo, è la macchina che trascina cose come una cassetta magnetica, o un dischetto, o altri oggetti del genere (infatti si dice "cassette drive", oppure "diskette drive").

Firmware La parola è uno di quegli scherzetti che piacciono agli specialisti di computer: una via di mezzo tra hardware e software. Vuole indicare qualcosa di "soft" - un programma, tipicamente - registrato in modo "hard", cioè permanente; ad esempio in una ROM.

Floating Point Altra espressione che magari viene usata per impressionarvi. Indica un particolare modo di rappresentare i numeri, utile quando vogliamo indicare numeri molto grandi o molto piccoli (per chi ha già affrontato le "potenze", si tratta di indicare l'"esponente": di dire "dieci alla terza" invece di "mille"). Se parliamo di unità aritmetiche... be', un'unità di questa razza è molto piú complessa (e costosa) delle altre.

Floppy disk Termine inglese che significa "disco flessibile". I floppy disk sono fatti di plastica flessibile ricoperta di materiale magnetizzabile, e sono spesso usati come sistemi di memoria aggiuntiva nei computer, soprattutto nei personal. A differenza dei dischi rigidi, possono essere trasportati con facilità (il vero patito dei computer gira sempre con qualche dischetto in tasca...).

Flusso, diagrammi di Detti anche, all'inglese, *flowchart*. Sono grafici usati per sviluppare i programmi per computer. I diagrammi di flusso rappresentano sulla carta tanto le informazioni quanto la successione con cui il computer dovrà elaborare.

Hardware I dispositivi fisici che compongono un computer, all'opposto dei programmi che lo fanno funzionare (software). Qualsiasi cosa che possiate concretamente toccare è hardware.

I/O Ah, queste abbreviazioni! Sta per Input-Output, cioè "ingresso-uscita". Insomma, quei dispositivi che vi permettono di comunicare con un computer. Input è, per esempio, la tastiera del personal, che vi dà la possibilità di mandare delle informazioni in input, cioè in ingresso al computer. Output sono invece il video o la stampante, che permettono alle informazioni di "uscire" dal computer.

Indirizzo Un numero che identifica la locazione di memoria di un computer in cui è contenuta una particolare informazione.

Istruzione Un comando, dato in un programma, che produce un'azione da parte di un computer. Le istruzioni sono scritte dai programmatori. Se si usa un linguaggio ad alto livello, i gruppi di istruzioni che costituiscono i programmi vengono "tradotti" dai compilatori in linguaggio macchina, che è il solo che i computer sono in grado di comprendere.

Keyboard Se volete darvi un mucchio di arie, chiamate cosí la banale tastiera del vostro personal.

Locazione Nella memoria di lavoro, la "locazione di memoria" è la piú piccola parte di memoria raggiungibile con un indirizzo. Spesso la si chiama anche parola o carattere: in un microcomputer è generalmente un byte.

Loop Un gruppo di istruzioni di un programma che il computer esegue piú volte finché una certa condizione non è soddisfatta.

Mainframe Un computer molto grande, che richiede operatori che si prendano cura di lui, un locale con aria condizionata e simili lussi.

Microcomputer Un piccolo computer contenente un microprocessore a cui possono essere collegate unità periferiche di tipi anche molto diversi. In un microcomputer casalingo, un home computer, queste unità periferiche spesso comprendono un televisore e un registratore a cassette.

Microscopio elettronico I microscopi normali non possono essere usati per ingrandire oggetti piú piccoli della lunghezza d'onda della luce. Oggetti cosí piccoli si possono invece vedere usando, al posto della luce, raggi di elettroni; gli elettroni si comportano come onde elettromagnetiche con lunghezza d'onda molto piú corta di quella della luce. Il microscopio elettronico è indispensabile nella produzione dei chip.

Modem Un dispositivo che mette il computer in grado di comunicare tramite cavi telefonici. Il modem (parola ricavata da *mo*dulatore/*demo*dulatore) converte i segnali elettronici digitali emessi dal computer in segnali ancora elettronici ma analogici, del tipo dei segnali audio, che possono viaggiare su una linea telefonica. Un altro modem all'altra estremità della linea trasforma i segnali analogici in segnali digitali comprensibili dal computer destinatario.

Nastro magnetico Una memoria di massa che ci permette, in modo molto economico, di memorizzare dati su una striscia di plastica ricoperta di sostanza magnetica. In una memoria a nastro l'accesso ai dati è piú lento che in una memoria a disco.

Network Qui si entra nel mondo dell'informatica "importante". Ah, secondo voi network è qualcosa che riguarda le televisioni private? Non solo... anche se televisione e computer a volte si parlano. Network significa rete: rete di computer, per noi. Può collegare (con delle linee telefoniche, o addirittura via radio) dei computer distanti migliaia di chilometri (si tratta di una "rete remota") oppure lontani poche decine di metri (è una "rete locale"). In questo modo i diversi computer si scambiano dati, programmi, servono addirittura da cassette delle lettere...

Olografia Un metodo per ottenere immagini tridimensionali usando un raggio laser invece di una normale macchina fotografica.

Parola La CPU di un computer tratta i bit in gruppi di lunghezza fissata, chiamati parole. Piú grande è la parola, piú potente è il computer che la usa. La lunghezza delle parole può essere di 8 bit (1 byte), 16 (2 byte), 32 bit (4 byte): solo alcuni supercomputer usano parole ancora piú lunghe! La maggior parte dei computer lavora con parole aventi lunghezza di 1 o 2 byte.

Periferica Unità di input, di output o memorie di massa che possono essere temporaneamente collegate alla CPU. Periferiche sono ad esempio le stampanti, le tastiere, i dischi ecc.

Personal ... A proposito, lo si capisce subito, vuol dire "personale", per distinguerlo dai computer di "una volta" o da quelli "grossi", che abitano in un centro di calcolo e pretendono di essere trattati con le dovute precauzioni. Calcolatore personale, insomma. Piú o meno come un'automobile (nei primi tempi, anche le auto dovevano essere guidate solo da meccanici esperti e avevano bisogno di mille precauzioni e cortesie!).

Programma Un completo insieme di istruzioni che pone un computer in grado di risolvere un dato problema o di intraprendere un compito particolare. Spesso i computer contengono programmi permanenti (come il sistema operativo) che ne fanno funzionare le varie parti in modo corretto.

Programmatore L'operatore che mette a punto la sequenza di istruzioni da dare un computer affinché questo sia in grado di elaborare i dati.

Radar Sigla ricavata dalle iniziali delle parole inglesi *Radio Detection and Ranging*, che significa "rilevamento radio e misurazione delle distanze". Un sistema atto a trasmettere impulsi radio, che vengono riflessi da qualsiasi oggetto incontrino sul loro cammino. Gli impulsi riflessi vengono visualizzati su uno schermo, e la distanza dell'oggetto viene determinata calcolando il tempo impiegato dagli impulsi a colpire

l'oggetto e a tornare indietro. Che c'entra coi computer? Oggi, alcuni fra i piú grandi super-computer servono proprio per guidare i radar e interpretare le immagini da essi raccolte.

RAM Se proprio volete sapere di che cosa è la sigla... si tratta di *Random Access Memory*, cioè "memoria ad accesso casuale". Per carità, non pensate che si tratti di qualcosa dove si scrivono a caso delle informazioni che poi, sempre a caso, magari non si ritrovano piú! Spiegare il perché di questa strana definizione coinvolgerebbe un sacco di storia antica (antica per i computer, cioè) e forse non ne vale la pena: se proprio volete conoscerla andate a cercare su un dizionario specializzato. Oggi, RAM indica una memoria "a lettura e scrittura", in cui potete registrare delle informazioni direttamente dalla CPU e poi leggerle e anche cancellarle e modificarle e via dicendo. In parole povere, una memoria di lavoro!

Real-time Termine inglese che significa "tempo reale". Un computer che sia in grado di rispondere ai comandi istantaneamente, ad esempio per mezzo di un terminale, si dice che funziona in real-time.

Registro Una piccola memoria, grande di solito come una parola, all'interno della CPU. Viene usata per contenere temporaneamente dati o istruzioni o risultati di calcoli.

ROM Altra sigla: questa volta si tratta di *Read-Only Memory* (e, caso strano, la sigla vuol proprio dire la verità!). Si parla di una "memoria a sola lettura": qualcosa in cui scrivete una volta per tutte e dove poi potete solo leggere (come nella pagina di un libro stampato). Nei calcolatori, è usata per registrare qualcosa di molto importante, quasi vitale, che non deve essere distrutta per tutto il tempo di funzionamento della macchina.

Salto In inglese *branch*: istruzioni di un programma che ordina alla CPU di abbandonare la normale successione delle istruzioni e di eseguire l'istruzione indicata nel salto.

Schermo Detto anche, all'inglese, *screen*. È la superficie di un tubo a raggi catodici sulla quale viene prodotta l'immagine.

Semiconduttore Una sostanza, come il silicio o il germanio, che non è un buon conduttore di elettricità né un buon isolante. I transistor sono realizzati con semiconduttori.

Sintetizzatore vocale Un dispositivo capace di produrre una voce umana artificiale, che permette ai computer di "parlare".

Software I programmi che consentono ai computer di elaborare. Questa parola è l'opposto di hardware, che è il termine con cui si intende il computer come macchina fisica. Senza software il computer è proprio hardware, cioè... ferraglia!

Storage Inizialmente, voleva dire "magazzino", e infatti, identifica tutti i magazzini... di informazioni. Piú precisamente, la definizione, quando si parla di calcolatori, si deve intendere nel significato di "memoria": *main storage* è la memoria di lavoro, *mass storage* una memoria di massa come un disco o un nastro magnetico.

Telematica Non è esattamente una parola inglese (anzi, l'hanno inventata i francesi: vorrebbe dire "informatica a distanza"). Rappresenta tutta quella quantità di macchine, ricerche, programmi e chi piú ne ha piú ne metta, che hanno a che fare con le reti di calcolatori (vedi "*network*") e con i collegamenti di computer magari molto distanti fra loro. Potete incappare nella telematica anche senza saperlo: ad esempio, se fate una prenotazione su un aereo (i vari computer delle agenzie sono collegati fra loro) o se dall'ufficio di un avvocato interrogate la banca dati che contiene tutte le sentenze della Corte di Cassazione.

Time-sharing Termine inglese che significa "divisione di tempo". È la tecnica che permette a molti utenti di fare eseguire, in apparenza "contemporaneamente", i propri programmi dallo stesso computer: la macchina divide il proprio tempo fra tutti!

Vacuum tube La traduzione esatta, "tubo a vuoto", non la userebbe certo nessuno... è la "valvola termoionica". La nonna del transistor, la bisnonna del chip: senza di lei, l'elettronica non sarebbe nata...

Indice analitico

I numeri in corsivo si riferiscono alle didascalie, alle scrittine dei disegni e ai testi riquadrati.

Fonti delle illustrazioni

Adriano Abbado, Milano 37 (Immagine digitale), 183s; Robert Abel & Associates (designed by Kenny Mirman, technical director Frank Vitz) 178-179, (Robert Abel/Michael Gibson) 180; Foto Alquati, Milano 56, 110-111, 128, 148, 165, 197b, 202a, 203, 214-215, 233b; Architecture Machine Group M.I.T., 1980 136; Archivio Mondadori, Milano 25, 115, 117a, 186-187, 187; Color Computer Graphics - Association for Computing Machiney, New York 103, 176, 179a; per gentile concessione della BMW di Monaco 108; da *Le civiltà dell'Oriente*, vol. 3, © Edizioni Casini, Firenze, Roma, 30; Giampaolo Chies 18-19, 19, 36, 42, 46, 52, 57, 58, 66-67, 72, 76, 81, 98, 99, 100, 104, 114, 119, 137, 140-141, 153, 158, 167b, 193; CNR, Genova 27, 97b, 162b; Aligi Colombi 15, 16-17, 20-21, 23a, 26-27, 86-87; Andrea Corbella 127, 146-147, 227, 238-239; Giancarlo Costa 23b; Regis Desjardins, Parigi 164; Digital Productions, Los Angeles 179b; © Walt Disney Productions 109, 172, 173; ESA 38-39; FIAT, Torino 185, 190-191, 198, 202b; Ford Italiana S.p.A., Roma 78, 184, 197a, 197c, 198-199, 199, 243; F. Frezzato, Bergamo 32, 33; Giacinto Gaudenzi 30-31, 44-45, 74-75, 92-93, 97a, 106-107, 112-113; Mark Godfrey 130-131; IBM, Milano 48-49, 49, 51, 53b, 54, 55, 58-59, 62, 63, 65ad, 65bd, 73, 77a, 77c, 79, 84, 84-85, 85, 89, 94, 101, 102-103, 105, 129b, 139, 149b, 160, 162a, 177, 188, 191, 209, 218, 236; © 1982 by Douglas W. Johnson, Battelle Observatory 218-219; Kodansha Ltd., Tokyo 24; Fondazione Ligabue, Venezia 14; Rob Cook, Lucasfilm Ltd. 182; Magnum, Milano (E. Lessing) 47; Artronix, Seattle - Moving Picture Company, Londra - Micro Consultants Ltd., Kenley, Inghilterra 181; Ministero dell'Interno - Dipartimento della Pubblica Sicurezza 124-125; Minolta 88; NASA 224-225; G. Neri, Milano 161, 216a, 230-231; (Black Star/Dan McCoy) 95, 170-171, 228-229, (Black Star/Fred Ward) 204-205, (Camera Press, Londra/Ken Gallard) 71, (Rico Carish) 171, (Contact Press Images/Douglas Kirkland) 70-71, (© L'Express/Jean Régis) 122-123, (Enrico Ferorelli) 160-161, 206a, (Fusco) 195, 235, (Malcolm S. Kirk) 216b, (MEG/François Duhamel) 192, (T. Nebbia) 29, (Chuck O'Rear) 60-61, 64-65, 68-69, 169, (Paris Match) 208-209, (Photri) 21, 132, (Co Rentmeester) 210-211, (Science Photo Library, Londra) 132-133, 133, (Science Photo Library/dr. R.P. Clarck) 129a, (Science Photo Library/A. Hart Davis) 67, (Science Photo Library/Tom McHugh) 75, (Science Photo Library/David Parker) 125a, 130, (Kim Steele) 65cd, (Sygma/De Wildenberg) 59, (Sygma/D. Goldberg) 149a, 231, (Sygma/A. Nogués) 35, (Sygma/Eric Preau) 233a, (Sygma/G. Rancinan) 226, (Sygma/Randy Taylor) 118, (Sygma/Time) 211, (Sygma/P. Vauthey) 34-35, (M. Torello) 151a, (Tremolada) 77b, 150, (Alexander Tsiaras) 212, 213b, (Visum/George Fischer) 192-193, (Wheeler Pictures/Enrico Ferorelli) 43, 206c, (Wheeler Pictures/Tobey Sanford) 176-177, (© 1983 Mark S. Wexler Jullien) 232; Olivetti, Ivrea 125, 142-143, 144, 144-145, 145, 156-157, 157, 190; Ippodromo "Le Padovanelle", Padova 83; Perkin-Elmer, Monza 134b, 220, 221; Industrie Pininfarina S.p.A., Torino 196; Alessandro Polistina 183d; M. Pucciarelli, Roma 16; Scala, Firenze 22, 134a, 135; Trustees of the Science Museum, Londra 50-51; SGS-ATES, Milano 90-91; SIP, Milano 151b, 154; J. Thorne, Londra 40-41; Tony Stone Photolibrary Ltd., Londra 8, 65bs, 80, 82-83, 120-121, 121, 155, 174-175, 188-189, 194, 205, 206-207, 213a, 222, 222-223, 242; dati acquisiti ed elaborati dall'Agenzia Spaziale Europea - programma Earthnet - presso la stazione del Fucino gestita da Telespazio 18; E. Tremolada, Milano 91, 117b, 159, 166-167, 167a, 237; Foto F. Villani, Bologna 200, 200-201; Volpe, Milano (Doc Liaison/Gamma) 240-241; "Zerouno", Arnoldo Mondadori Editore, Milano 207, 208.
Copertina di Luciano Corbella.

La storia dell'informatica comincia come un'avventura di guerra - fra spie, codici segreti e battaglie aeree - e continua in mille modi. Scopriamo che cosa si può fare con l'informatica e come la si può usare per pilotare un aereo supersonico o per disegnare cartoni animati, per inseguire tra i pianeti una sonda spaziale o per progettare un'automobile, per fare musica o per controllare una centrale nucleare, e per infinite altre cose ancora. Entriamo nel mondo dei computer e dei robot, e incontriamo i tranquilli operai e i solerti maggiordomi e anche i fantastici artisti... tutti elettronici, naturalmente! Sbirciamo, senza farci notare, quel che combinano i "ladri al computer". Cerchiamo di capire che cosa stanno cucinando nei loro laboratori gli scienziati che preparano le nuove macchine, i "computer intelligenti". Tanto vale fare la loro conoscenza, no? Sono qui e intendono restare...

ISBN 88-04-26825-5
9 788804 268253